LA FILIERA LEGNO-ENERGIA

Risultati del progetto Interregionale Woodland Energy

Woodland Energy

La filiera Legno-Energia

Risultati del progetto Interregionale Woodland Energy

LA FILIERA LEGNO-ENERGIA
COME STRUMENTO DI VALORIZZAZIONE
DELLE BIOMASSE LEGNOSE AGROFORESTALI

Progetto interregionale Woodland Energy

Coordinamento

Regione Toscana
Direzione Generale dello Sviluppo Economico
Settore Programmazione Forestale

Arsia - Agenzia Regionale per lo Sviluppo
e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale

Partner del progetto

Regione Abruzzo
Direzione Agricoltura

Arssa - Agenzia Regionale per i Servizi
di Sviluppo Agricolo - Abruzzo

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
Direzione centrale Risorse agricole, naturali e forestali
Servizio Gestione forestale e Antincendio boschivo

Regione Lazio
Direzione Regionale Agricoltura - Area 7

Arsial - Agenzia Regionale per lo Sviluppo
e l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio
Area Studi e Progetti

Regione Liguria
Dipartimento Ambiente

Regione Marche
Servizio Agricoltura, Forestazione e Pesca

Assam - Agenzia Servizi Settore Agroalimentare Marche

Regione Molise
Assessorato Agricoltura, Foreste e Pesca produttiva
Servizio Tutela forestale

Regione Siciliana
Assessorato Agricoltura e Foreste
Dipartimento Interventi infrastrutturali - Servizio X Leader

Regione Umbria
Servizio Foreste ed Economia montana

Segreteria tecnica

Associazione Italiana
Energie Agroforestali

Con il cofinanziamento del Programma Biocombustibili (ProBio) - Mipaaf

Direzione Generale
Sviluppo rurale, infrastrutture e servizi

Nel marzo 2007 il Piano d'Azione del Consiglio Europeo denominato "Una politica energetica per l'Europa" ha fissato nel 2020 la data alla quale proiettare gli scenari della previsione energetica europea (ridurre del 20% le emissioni di anidride carbonica; migliorare del 20% l'efficienza energetica dell'Unione Europea; incrementare la percentuale dell'energia ricavata da fonti rinnovabili fino al 20%).

In questo quadro si è mossa anche la Regione Toscana con il proprio *Piano di Indirizzo Energetico Regionale* (PIER) fissando i propri obiettivi e proiettando dunque i propri scenari alla "data traguardo" del 2020.

Il primo obiettivo è quello di ridurre i consumi del 20% al 2020. Il secondo obiettivo di rilievo riguarda lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili fissando un traguardo formale e "irrinunciabile" quello del Piano d'Azione europeo: il 20% di energia prodotta da fonti rinnovabili al 2020. Questi due obiettivi sono complementari e susseguenti.

Il perseguimento di tali obiettivi consentirà di avvicinarsi ai traguardi prefissati dal Protocollo di Kyoto, approvato nel 1997 ed entrato in vigore il 16 febbraio 2005, riguardo alla riduzione delle emissioni di gas serra.

In questo quadro un contributo non secondario potrà essere dato dalle biomasse agroforestali utilizzabili a scopo energetico.

Infatti, a livello regionale è disponibile una considerevole quantità di materia prima definibile come *biomassa*. Buona parte di questa biomassa può essere considerata come "residua" poiché deriva dagli scarti delle cure colturali ai boschi, dalle potature in campo agricolo, dalla manutenzione delle infrastrutture sul territorio quali linee elettriche, strade e alvei, dagli interventi di manutenzione del verde urbano.

Lo sviluppo della filiera legno-energia potrà costituire un incentivo alla selvicoltura sostenibile, all'asportazione delle ramaglie dai boschi come azione di prevenzione nei confronti del rischio di incendi boschivi e per le malattie delle piante. Inoltre lo sviluppo di questa filiera potrà favorire il miglioramento tecnologico inteso come efficienza degli impianti, potrà contribuire all'affermazione di nuove figure professionali e di nuovi posti di lavoro, nell'ottica del raggiungimento degli obiettivi e degli accordi internazionali.

È in questo senso che si è mosso, anticipando i grandi obiettivi prefissati a livello internazionale, il progetto interregionale Woodland Energy.

Progetto operativo che, tramite azioni di monitoraggio, ha confermato la bontà delle puntualizzazioni riportate nel Piano di Indirizzo Energetico Regionale riguardo all'impiego delle biomasse agroforestali, cioè che le dimensioni degli impianti debbano essere – di norma – di piccola e media taglia, al fine di garantirne la sostenibilità e che l'aspetto gestionale debba essere garantito attraverso l'utilizzo delle risorse locali.

Il progetto interregionale Woodland Energy ha dimostrato ancora una volta di più l'importanza della collaborazione fra tutte le istituzioni, centrali e periferiche – Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Regioni e Agenzie regionali in sinergia con istituti di ricerca e soggetti privati.

I risultati prodotti, e trasferiti in questa pubblicazione, dovranno essere elementi di valutazione per affermare scelte tecniche ponderate e in linea con uno sviluppo sostenibile nell'utilizzo di biomasse a scopo energetico.

Claudio Martini
Presidente della Regione Toscana

In questa pubblicazione si riportano i risultati finali del progetto interregionale Woodland Energy "La filiera legno-energia come strumento di valorizzazione delle biomasse legnose agroforestali", cofinanziato dal Programma Biocombustibili (PROBIO) del Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (MIPAAF).

Il progetto, coordinato da ARSIA per conto della Regione Toscana, ha coinvolto altre 8 regioni oltre alla Toscana: in particolare, le Regioni Abruzzo/ARSSA, Friuli Venezia Giulia, Lazio/ARSIAL, Liguria, Marche/ASSAM, Molise, Sicilia e Umbria.

Lo sviluppo di filiere legno-energia sostenibili da un punto di vista economico e ambientale risulta strategico per tutte queste Regioni, data l'entità della loro superficie forestale e la quantità potenziale di biomasse legnose di provenienza agricola nei loro territori.

L'approccio interregionale ha consentito di realizzare un progetto complesso e articolato – con adeguate risorse finanziarie –, dando valore aggiunto alle attività svolte dalle singole Regioni e permettendo di realizzare importanti sinergie operative.

Le filiere pilota legno-energia realizzate nell'ambito del progetto Woodland Energy, che hanno una grande valenza dimostrativa e che per alcune Regioni hanno rappresentato le prime esperienze applicative, potranno essere utilizzate come modelli innovativi replicabili a livello nazionale.

In questa pubblicazione, infatti, si evidenziano linee guida tecniche relative a tutti gli aspetti della filiera legno-energia, dalla caratterizzazione dei combustibili legnosi, alle metodologie di raccolta e stoccaggio, al loro impiego in moderne caldaie per la produzione di energia termica. Inoltre, nel testo vengono illustrate le principali attività svolte dalle Regioni partner e riportati i risultati delle attività di monitoraggio.

Il lavoro che pubblichiamo, rivolto ai tecnici e agli altri operatori pubblici e privati coinvolti a vario livello nella filiera, fornisce indicazioni tecniche ed elementi di riflessione utili per l'organizzazione e la gestione di razionali filiere legno-energia. Un elemento, questo, di estrema rilevanza in una fase ancora pressoché iniziale di sviluppo di tali filiere a livello nazionale, in quanto scelte non appropriate possono pregiudicare l'ulteriore sviluppo di questa importante risorsa rinnovabile, che rappresenta un'importante opportunità di occupazione e d'impresa per gli operatori del territorio rurale.

Maria Grazia Mammuccini
Direttore ARSIA

Coordinamento:

Tiziana Mazzei, Silvia Migliarini, Gianfranco Nocentini - *Arsia*

Gli Autori

- Tiziana Mazzei, Silvia Migliarini, Gianfranco Nocentini
  Arsia Regione Toscana
- Alessio Bartolini, Claudio Resti
  Wwf Ricerche e Progetti srl, Roma
- Natascia Magagnotti, Carla Nati, Raffaele Spinelli
  Cnr Ivalsa Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree, Firenze
- Stefano Verani
  Cra Unità di ricerca per le Produzioni legnose fuori foresta
- Marco Vieri
  Diaf Dipartimento di Ingegeneria Agraria e Forestale, Università di Firenze
- Enrico Bonari, Giorgio Ragaglini, Cristiano Tozzini
  Land Lab, Scuola Superiore di Studi Universitari e di Perfezionamento 'Sant'Anna', Pisa
- Marco Ginanni
  Ciraa Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi", Pisa
- Eliseo Antonini, Lapo Casini, Valter Francescato, Davide Pagliai, Annalisa Paniz
  Aiel Associazione Italiana Energie Agroforestali

Referenti regionali del progetto Woodland Energy

- Emanuele Bonfitto, Rita Cianfarra - *Arssa Regione Abruzzo*
- Rinaldo Comino - *Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia*
- Giuseppe Izzo - *Arsial Regione Lazio*
- Carlo Marzani - *Regione Liguria*
- Andrea Bordoni - *Regione Marche*
- Nicola Pavone - *Regione Molise*
- Giuseppe Giarrizzo, Giuseppe Spartà - *Regione Siciliana*
- Gianfranco Nocentini - *Arsia Regione Toscana*
- Francesco Grohmann - *Regione Umbria*.

Per il significativo supporto tecnico-scientifico a valenza interregionale fornito nell'ambito del progetto si ringraziano: la Scuola Superiore di Studi Universitari e di Perfezionamento 'Sant'Anna' di Pisa, il Ciraa Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi"di Pisa, il Cnr Ivalsa Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree di Firenze, l'Associazione Italiana Energie Agroforestali-Aiel.

Si ringrazia inoltre il Settore Programmazione Forestale della Regione Toscana per l'attività di raccordo condotta con il Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali nell'ambito del Programma Biocombustibili (ProBio).

Il materiale fotografico è stato fornito dagli Autori e dai vari soggetti partner del progetto.

Sommario

1. Il progetto interregionale Woodland Energy

Tiziana Mazzei, Silvia Migliarini, Gianfranco Nocentini - Arsia

Gli obiettivi del progetto

L'Arsia, per conto della Regione Toscana, ha coordinato il progetto interregionale Woodland Energy "La filiera Legno-Energia come strumento di valorizzazione delle biomasse legnose agroforestali". Vi hanno partecipato, oltre alla Toscana, le Regioni Abruzzo (Arssa), Friuli Venezia Giulia, Lazio (Arsial), Liguria, Marche (Assam), Molise, Sicilia e Umbria.

Il progetto, cofinanziato dal programma Pro-Bio del Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (Mipaaf) e dalle 9 Regioni coinvolte, ha previsto la realizzazione e il monitoraggio di modelli replicabili di filiere legno-energia e l'attuazione di varie azioni dimostrative nelle nove regioni, con lo scopo principale di illustrare agli operatori alcuni sistemi razionali di raccolta e gestione delle biomasse legnose agroforestali per fini energetici.

Il progetto, di durata pluriennale (2005-2009), ha perseguito i seguenti obiettivi:

- Messa a punto di filiere economicamente sostenibili e facilmente replicabili, finalizzate alla valorizzazione energetica della biomassa legnosa proveniente dal comparto agricolo e forestale;
- Realizzazione degli impianti e analisi degli aspetti tecnici, economici e ambientali della filiera;
- Messa a punto di strumenti informativi a supporto dello sviluppo della filiera legno-energia nelle regioni coinvolte.

Le azioni del progetto

Per conseguire gli obiettivi sopra citati sono state attuate le seguenti azioni:

- *Azioni di coordinamento complessivo del progetto*
  Attività di coordinamento interregionale e regionale riguardanti le fasi di progettazione, impostazione e gestione del progetto.

- *Azioni trasversali: definizione di modelli dimostrativi per la razionale produzione di legno combustibile da biomasse legnose di origine agroforestale da utilizzare per fini energetici*
  Durante il progetto sono stati definiti Protocolli Tecnici di Utilizzazione (Ptu) per le seguenti tipologie di sistemi arborei: boschi cedui, boschi di conifere, vigneti e oliveti, frangivento, colture dedicate da energia.
  Lo scopo principale è stato quello di ottimizzare i costi e i tempi impiegati per le operazioni di raccolta, trasformazione e produzione dei combustibili legnosi (legna da ardere, cippato e densificati). Nelle varie regioni sono stati individuati dei soprassuoli o degli impianti arborei in cui allestire i cantieri sperimentali/dimostrativi previsti dal progetto. In funzione dei cantieri attivati, sono stati redatti i Ptu sia per le operazioni di taglio, raccolta e prima trasformazione della biomassa, sia per quelle di trasporto e stoccaggio della stessa. I Ptu variano in funzione del modello di filiera legno-energia considerato, sulla base del prodotto che si vuole ottenere, delle risorse a disposizione e dei soggetti che effettuano le utilizzazioni. In ciascun Ptu sono state specificate le macchine e le attrezzature impiegate, le modalità con cui si sono svolte le varie operazioni e indicato il razionale utilizzo della manodopera.

- *Azioni trasversali: realizzazione di impianti termici pilota/dimostrativi e analisi dei tre modelli di impiego energetico della biomassa legnosa*
  Il progetto ha promosso, sulla base di esperienze ormai consolidate in altre realtà nazionali e regionali, tre modelli di filiera:

- *Filiera aziendale o dell'autoconsumo*: filiera su scala aziendale basata sull'impiego di biomasse legnose prodotte dall'azienda stessa, utilizzate per l'autoapprovvigionamento termico
- *Filiera composta o della vendita del cippato:* forma organizzata di fornitura di combustibili legnosi in grado di assicurare l'approvvigionamento di biomasse legnose di adeguata qualità a impianti termici collettivi
- *Filiera legno-energia contracting o della vendita del calore:* filiera integrata in cui uno o più imprenditori agroforestali locali sono in grado di gestire l'intera filiera legno-energia e quindi di vendere il calore direttamente alle utenze pubbliche e private di una piccola comunità.

• *Azioni trasversali: monitoraggio tecnico-economico della filiera e fornitura di strumenti di supporto*
Con lo scopo di valutare la convenienza degli investimenti e i benefici ambientali, durante il progetto sono state effettuate analisi tecnico-economiche su:
- i cantieri sperimentali/dimostrativi di utilizzazione dei sistemi arborei
- gli impianti termici.

• *Azioni trasversali: strumenti divulgativi, dimostrativi e formativi a supporto della filiera legno-energia*
Il progetto ha fornito strumenti divulgativi e dimostrativi dei modelli di filiera legno-energia realizzati nelle varie regioni.
In particolare, è stata realizzata una brochure sul progetto, che è stata distribuita durante le varie iniziative a carattere divulgativo realizzate nell'ambito del progetto stesso e in occasione di manifestazioni regionali e nazionali relative al settore.
Inoltre, da parte delle Regioni aderenti al progetto sono state svolte numerose iniziative dimostrative relative ai cantieri di utilizzazione e di raccolta delle biomasse legnose e sono stati

I partner istituzionali e tecnico-scientifici

Regione	*Partner istituzionali e tecnico-scientifici*
Abruzzo	• Regione Abruzzo, Direzione Agricoltura
	• ARSSA Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo - Abruzzo
	• Consorzio di Ricerca Applicata alle Biotecnologie, Avezzano (AQ)
	• Consorzio Tecniche Irrigue srl - Centro per la Sperimentazione e la Divulgazione delle Tecniche irrigue, Vasto (CH)
Friuli Venezia Giulia	• Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale Risorse agricole, naturali e forestali Servizio Gestione forestale e Antincendio boschivo
	• Università di Udine, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali
Lazio	• Regione Lazio, Direzione Regionale Agricoltura
	• ARSIAL Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio
	• AIEL Associazione Italiana Energie Agroforestali, Roma
	• WWF Ricerche e Progetti srl, Roma
Liguria	• Regione Liguria, Dipartimento Ambiente
	• Università di Genova, Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici, Trasporti
Marche	• Regione Marche, Servizio Agricoltura, Forestazione e Pesca
	• ASSAM Agenzia Servizi Settore Agroalimentare delle Marche
	• Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze Applicate ai Sistemi Complessi
Molise	• Regione Molise, Assessorato Agricoltura, Foreste e Pesca Produttiva – Servizio Tutela forestale
	• Università del Molise, Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Isernia
Sicilia	• Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Dipartimento Interventi Infrastrutturali – Servizio X LEADER
Toscana	• Regione Toscana, Direzione Generale dello Sviluppo Economico – Settore Programmazione forestale
	• ARSIA Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale
	• Scuola Superiore di Studi Universitari e di Perfezionamento "Sant'Anna", Pisa
	• Università di Pisa, CIRAA Centro Interdipartimentale di Studi Agro-Ambientali "E. Avanzi"
	• CNR IVALSA Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree, Firenze
Umbria	• Regione Umbria, Servizio Foreste ed Economia montana
	• CNR IBAF Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale, Porano (TR)

organizzati eventi per l'inaugurazione degli impianti di teleriscaldamento realizzati.
Per divulgare tutte le attività svolte durante il progetto e rendere disponibili le varie informazioni, è stato realizzato il sito internet:
www.woodland.arsia.toscana.it

Infine, i risultati e le indicazioni tecniche derivanti dalle attività promosse sono stati riassunti in questa pubblicazione, che contiene alcune linee guida operative utili per chi deve realizzare filiere legno-energia.

I partner coinvolti

Data l'articolazione complessa e interdisciplinare del progetto, sono stati coinvolti nella sua attuazione molteplici soggetti istituzionali e scientifici (*vedi esposizione schematica dei partner nella pagina a lato*).

Da non dimenticare che hanno collaborato al progetto anche partner imprenditoriali: organizzazioni professionali agricole e imprese agroforestali; imprese produttrici di macchine e attrezzature agroforestali, CATAS - Centro ricerche-sviluppo e laboratorio di prove settore legno arredo di San Giovanni al Natisone (UD) e Umbraflor srl - Azienda vivaistica regionale, Vivaio "Il Castellaccio".

2. La filiera legno-energia

Tiziana Mazzei, Silvia Migliarini, Gianfranco Nocentini - Arsia

Inquadramento della filiera legno-energia

Le convenzioni nazionali sulla ricerca e protezione del clima degli ultimi anni, hanno spinto le Nazioni a impegnarsi fattivamente per il contenimento delle emissioni di gas serra incentivando l'utilizzo delle energie rinnovabili.

Il Protocollo di Kyoto assegna all'Italia un obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra, da realizzarsi entro il 2012, del 6,5% rispetto ai livelli del 1990. Nel nostro Paese le emissioni, invece di diminuire, sono aumentate del 13%, portando a circa il 20% la riduzione da realizzarsi da oggi al 2012. Gli aumenti più consistenti di emissioni hanno riguardato i trasporti (+27,5%) e la produzione di energia termoelettrica (+17%). Su questi dati incide soprattutto la forte dipendenza da fonti fossili, che relega l'Italia fra i paesi europei maggiormente dipendenti da paesi terzi per l'approvvigionamento energetico (circa l'85% del fabbisogno).

In Italia, già con la Legge 10/91 si riconosce di pubblico interesse e pubblica utilità l'utilizzazione delle fonti di energia rinnovabile (idroelettrica, geotermica, da biomasse, solare ed eolica). Con il Libro Bianco del 1999 ci si pone l'obiettivo di raddoppiare il contributo percentuale delle fonti rinnovabili entro il 2010-2012, mentre con il Decreto Bersani, sempre dello stesso anno, si rende obbligatorio per i produttori/importatori di energia, di immettere in rete, a decorrere dal 2002, una quota minima di energia da fonti rinnovabili.

Il 23 gennaio 2008 la Commissione Europea ha stabilito obiettivi precisi sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili da raggiungere entro il 2020, obiettivi sintetizzati con la sigla 20-20-20: aumento del 20% della produzione energetica da fonti rinnovabili, miglioramento del 20% dell'effi-

Schema della filiera foresta-legno-energia

Il termine **filiera legno-energia** indica un insieme organizzato di fattori di produzione, trasformazione, trasporto e utilizzazione del legno a fini energetici; partendo dalla produzione, passando attraverso la riduzione del legno in materiale idoneo alla trasformazione energetica e finendo con l'alimentazione della caldaia e la gestione degli impianti termici. Tutte le persone, società e cooperative impegnate in queste attività fanno parte della filiera.

cienza energetica e taglio del 20% delle emissioni di anidride carbonica.

In questo contesto appare strategico il ricorso a un ampio ventaglio di fonti energetiche diverse, accordando la priorità a quelle rinnovabili, potenzialmente disponibili sul territorio, in un'ottica di decentralizzazione della produzione e sviluppo di piccole reti di utenza locale. Non si tratta certo di un'opzione ovunque praticabile, bensì di un tassello importante di una strategia più ampia e articolata.

In Italia la dispersione elevata degli insediamenti abitativi e produttivi (soprattutto nei territori collinari e montani) e la complessiva ricchezza di potenziali fonti energetiche rinnovabili diffuse sul territorio, devono indurre a percorrere questa strada.

Con il D.lgs. del 29 dicembre 2003 vengono definite le fonti rinnovabili e si dà una prima definizione di biomassa come "la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura e dalla selvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani".

La biomassa rappresenta la prima fonte rinnovabile per importanza in Europa e la seconda in Italia (rispettivamente incide per oltre il 50% e per il 30%). Il principale utilizzo di questa fonte energetica è la produzione di energia termica (77%), attraverso la combustione.

L'Unione Europea, e così l'Italia, prevedono sostegni sempre più significativi per stimolare la produzione di biomassa da colture dedicate e favorire l'impiego delle fonti di energia rinnovabile con particolare attenzione all'impiego delle biomasse agroforestali ad uso energetico in apparecchi tecnologicamente innovativi.

La biomassa più utilizzata in Italia è il legno, impiegato soprattutto per alimentare apparecchi termici a livello domestico (un'indagine condotta dall'ENEA nel 1999, ha stimato che circa 4,5 milioni di famiglie in Italia utilizzino la legna a scopo energetico su varia scala). Il largo consumo del legno nelle varie forme (legna da ardere, cippato e pellet), è motivato dalla convenienza economica di tale combustibile nei confronti di quelli fossili; il legno ancora oggi costituisce l'energia rinnovabile più utilizzata nei paesi a basso livello di industrializzazione.

Le stime compiute in Europa e in Italia indicano una disponibilità potenziale molto elevata di questa risorsa, sia sotto forma di materia prima, sia come residui di attività agroforestali e della lavorazione del legno. Il legno rappresenta la più importante fonte energetica rinnovabile europea e in Italia è seconda solo all'idroelettrica.

Attualmente, la maggior parte del materiale legnoso viene bruciato con sistemi tradizionali, che presentano limitata efficienza energetica (40-50%) e ambientale. Tuttavia le moderne tecnologie consentono di sfruttare al meglio il combustibile legno per la produzione di energia termica (e dove possibile anche di energia elettrica in cogenerazione), con effetti benefici sull'ambiente e sul territorio.

La tendenza è verso lo sviluppo di prodotti che possono essere impiegati in impianti di riscaldamento ad alimentazione automatica (cippato di legno, pellet), anche se permane, per gli impianti di piccola taglia, un forte interesse per la legna a pezzi. Un'alternativa emergente alla legna in tronchetti è rappresentata dalle *briquette*, blocchetti di legno pressato di scarso ingombro ed elevato contenuto energetico. Per quanto riguarda l'impiantistica, si stanno rapidamente diffondendo le caldaie di nuova generazione, a fiamma inversa, che garantiscono rendimenti energetici superiori all'80%.

Potenzialmente la filiera legno-energia, che ha avuto un elevato sviluppo negli ultimi anni soprattutto in alcune realtà regionali del Nord Italia, potrebbe incrementarsi ulteriormente nei prossimi anni, per la presenza di svariati *elementi positivi*:

- *Grande disponibilità di biomasse legnose*
  – La superficie forestale italiana è di circa 10 milioni di ettari, pari al 35% del territorio nazionale.
  – La produzione del cippato (*chips*), permette di valorizzare dal punto di vista energetico anche boschi e assortimenti legnosi diversi da quelli tradizionalmente destinati alla legna da ardere e quindi di ampliare la disponibilità di biomassa idonea alla combustione.
  – La possibilità di utilizzare terreni potenzialmente vocati per la coltivazione di colture legnose dedicate alla produzione di energia (Short Rotation Forestry) in alternativa a colture agricole tradizionali.

- *Diffusa presenza di imprese e cooperative forestali*
  Le imprese e le cooperative forestali sono in grado di fornire i combustibili legnosi richiesti dal mercato (legna da ardere e cippato), ma anche di organizzare e gestire completamente filiere bioenergetiche con positivi effetti socioeconomici nelle aree rurali nelle quali operano.

- *Convenienza economica nella produzione di energia termica*
  È possibile, attraverso scelte imprenditoriali economicamente sostenibili e che valorizzino l'impiego locale delle risorse legnose, produrre energia termica a costi inferiori rispetto a quella ottenuta dai combustibili fossili.

- *Vantaggi dal punto di vista ambientale*
  – Il legno è una fonte energetica “CO_2 neutrale” in quanto la parte di anidride carbonica emessa dalla combustione è la stessa fissata dagli alberi attraverso la fotosintesi, perciò viene immessa in atmosfera senza alterare il ciclo del carbonio.
  – L’*energia grigia*, cioè l’insieme dei costi energetici necessari alla produzione della risorsa legno (esbosco, eventuale lavorazione, trasporto ecc.), è pari circa a un terzo di quella richiesta per il gasolio. Inoltre gli impatti ambientali e i rischi in caso di incidenti legati ai processi di estrazione, trasformazione e trasporto dei combustibili fossili risultano enormemente superiori.
  – La più omogenea distribuzione rispetto ad altre fonti e l’elasticità d’impiego, rendono il legno particolarmente idoneo anche a un consumo “locale”, cioè in prossimità del luogo di produzione, minimizzando le distanze di trasporto e i costi ambientali che ne derivano.
  – La presenza sul mercato di tecnologie innovative ha consentito di ottenere anche per impianti termici di piccola e media scala elevati livelli di efficienza energetica, unitamente a una drastica riduzione della quantità di sostanze inquinanti (diverse dalla CO_2) immesse nell’atmosfera.
  – Il recupero di prodotti di scarto della lavorazione del legno, di residui di carpenteria, di residui di potature, consente un recupero energetico da materiali il cui smaltimento costituisce soltanto un onere ed è spesso fonte di impatti negativi (ad esempio: la combustione all’aria aperta delle potature).

- *Crescente interesse di operatori del settore e aumento della sensibilità collettiva nei confronti delle tematiche ambientali*

- *Positive ricadute sul tessuto sociale ed economico locale nel caso di realizzazione di filiere corte*
  A differenza di quanto accade per l’energia che deriva dai combustibili fossili, il denaro investito per l’approvvigionamento della risorsa resta interamente *in loco*, a beneficio soprattutto degli operatori del settore agroforestale e più in generale della comunità locale.

- *Rivitalizzazione dell’economia delle aree marginali*
  La possibilità di mantenere un “presidio” in territori collinari e montani, e quindi anche di mantenere, o recuperare, un complesso di attività di manutenzione e cura del territorio.

Tuttavia è da segnalare anche la presenza di *aspetti negativi e di fattori limitanti*:

- *Mancanza di conoscenze sui sistemi alimentati a biomasse da parte delle aziende e dei tecnici*

- *Difficoltà a reperire tecnici in grado di realizzare progetti di filiera*

- *Investimenti iniziali elevati: il costo iniziale per la realizzazione di un impianto alimentato a biomasse legnose è 3-4 volte maggiore rispetto a un impianto tradizionale.*

È da considerare che negli ultimi anni lo sviluppo del settore ha subito diversi rallentamenti a causa della realizzazione di centrali termoelettriche o elettriche di grande potenza, quasi ovunque costruite senza verificare le reali possibilità di trovare a livello locale (nel medio-lungo periodo) il materiale legnoso necessario per alimentarle, con la conseguenza che si è passati in breve tempo dal legno ai rifiuti.

Diversamente, gli impianti di piccola e media scala (potenze fino a circa 1-2 MW) richiedono quantitativi di biomassa legnosa reperibili facilmente su scala locale, in modo economicamente e ambientalmente sostenibile. I piccoli e medi impianti consentono di massimizzare l’efficienza di impiego della biomassa legnosa e l’efficacia degli investimenti necessari per la loro realizzazione. Infatti, rispetto agli impianti di grande potenza, questi possono essere realizzati con investimenti e tempi di ammortamento contenuti e soprattutto consentono la piena e costante valorizzazione delle risorse locali.

Concludendo, si può affermare che lo sviluppo di filiere legno-energia nelle regioni italiane può incidere positivamente sul rilevante deficit energetico nazionale e regionale e contribuire positivamente agli impegni di Kyoto. Inoltre la valorizzazione energetica del legno prodotto nel comparto agricolo-forestale potrebbe portare a un beneficio di natura socioeconomica generando nuova occupazione locale; infatti secondo la *Swedish University of Agricultural Sciences* l’uso delle biomasse legnose a scopo energetico induce mediamente la costituzione di 500 nuovi posti di lavoro ogni 100.000 tep di energia primaria prodotta (5 posti/1000 tep contro 1,5 del petrolio e 1,2 del gas), circa il 70% dei quali sono connessi alle attività agroforestali.

I MODELLI DI FILIERA

Come in precedenza accennato, l’uso dei combustibili legnosi a scopo energetico può realizzarsi attraverso diversi modelli d’impiego e/o di gestione della filiera, attuabili attraverso differenti forme organizzative dei soggetti imprenditoriali.

I modelli di filiera legno-energia che consentono la massimizzazione dei vantaggi ambientali e socioeconomici per il territorio rurale e le comunità locali possono prevedere diversi assetti societari delle imprese agroforestali in forma singola e/o associata, per l'approvvigionamento e/o la gestione di impianti termici alimentati a cippato.

Si può affermare che le imprese agroforestali possono ottenere adeguati livelli di remunerazione dalla filiera legno-energia quando l'uso energetico del legno avviene in impianti di piccola e media taglia in grado di valorizzare le biomasse legnose locali nell'ambito dei seguenti tre modelli di filiera.

a. Filiera dell'autoconsumo

L'impianto termico è alimentato con il legno cippato autoprodotto dal proprietario attraverso l'utilizzazione dei soprassuoli gestiti.

La più antica e diffusa forma di uso del legno a scopo energetico nelle aziende agroforestali è l'autoconsumo. L'azienda agroforestale ricava il combustibile legnoso, necessario a soddisfare annualmente il proprio fabbisogno d'energia, dai sistemi arborei di cui dispone.

La finalità principale o esclusiva di tale filiera è la produzione dell'energia termica necessaria al riscaldamento degli ambienti lavorativi e dell'abitazione dell'imprenditore.

Il principale vantaggio derivante dall'attivazione di tale filiera è il risparmio che l'imprenditore riesce a ottenere, rispetto alla spesa da sostenere con l'impiego dei combustibili fossili.

b. Filiera della vendita del cippato

È basata sulla presenza, nel territorio, di alcuni impianti di piccola e media taglia (al servizio di edifici privati e/o pubblici) alimentati con cippato di provenienza locale, fornito da imprese agroforestali in forma singola o associata.

Questo modello di filiera prevede che l'imprenditore agroforestale collochi sul mercato locale il cippato prodotto in esubero rispetto all'autoconsumo, stipulando dei contratti di fornitura con uno o più soggetti privati e/o pubblici.

c. Filiera della vendita del calore (legno-energia contracting)

L'impresa agroforestale non si limita semplicemente a fornire il legno cippato, ma realizza l'impianto termico e vende calore alle utenze pubblico/private (mod. ESCO - *Energy Service Company*).

Esistono poi casi in cui l'impresa agroforestale oltre a fornire il legno cippato, svolge un ruolo di gestione dell'impianto termico già realizzato da altri soggetti, pubblici (Comuni, Comunità Montane, Province ecc.) o privati, e quindi fornisce un servizio di prestazione energetica (mod. EPC - *Contratto di Prestazione Energetica*).

In questo modello di filiera, l'impresa agroforestale vende direttamente l'energia alle utenze, massimizzando la remunerazione della sua attività. Con il modello *contracting* sono inoltre superati molti problemi legati all'approvvigionamento, soprattutto in relazione alle caratteristiche del combustibile, al suo prezzo e alla sua provenienza.

Schema dei modelli di filiera legno-energia

FILIERA DELL'AUTOCONSUMO

Impresa agroforestale	*produce* → →	cippato con biomasse legnose locali	*utilizza il cippato* →	Impianto termico di proprietà

FILIERA DELLA VENDITA DEL CIPPATO

Imprese agroforestali singole o associate	*producono* → →	cippato con biomasse legnose locali	*vendono il cippato* →	Impianti termici in edifici pubblici e privati

FILIERA DELLA VENDITA DEL CALORE

Imprese agroforestali singole o associate	*producono* → →	cippato con biomasse legnose locali	*utilizzano il cippato* →	Impianti termici	*vendono il calore* →	edifici pubblici e privati

Quando il soggetto che gestisce l'impianto è anche il fornitore del cippato si verificano infatti due situazioni:

- vi è tutto l'interesse a produrre combustibile di elevata qualità, tale da garantire l'ottimale funzionamento dell'impianto;
- il prezzo del cippato è stabilito sulla base del ricavato dalla vendita dell'energia, perciò l'utilizzazione boschiva può diventare conveniente anche nei casi in cui solitamente il macchiatico (valore delle piante in piedi al netto dei costi di abbattimento, allestimento ed esbosco) risulta negativo.

Per i motivi esposti il cippato prodotto dalla gestione e manutenzione dei boschi locali, determina una ricaduta positiva della filiera sul territorio e sulla comunità locale.

Strumenti legislativi a supporto della filiera legno-energia

Il VII Programma Quadro U.E. (2007-2013)

I Programmi Quadro sono il principale strumento finanziario dell'Unione Europea a sostegno della ricerca e dello sviluppo tecnologico. Il VII Programma Quadro, attraverso il tema Energia, inserito nel programma Cooperazione, pone come obiettivo generale quello di trasformare l'attuale sistema energetico, basato sui combustibili fossili, in un sistema maggiormente sostenibile fondato su fonti energetiche diverse e meno inquinanti.

Legge finanziaria 2006 e Legge 11 marzo 2006 n. 81

L'art. 1, comma 423, della Legge 23 dicembre 2005 n. 266 (Legge finanziaria 2006) modificato con la legge 81/2006 (art. 2-*quater*, comma 11, lettera *b)* stabilisce che la produzione e la vendita di energia elettrica e termica da fonti rinnovabili agroforestali (da parte di imprenditori agricoli che utilizzano materie prime provenienti prevalentemente dalle proprie aziende agricole) e fotovoltaiche, costituiscono *attività connesse* ai sensi dell'art. 2135 del Codice Civile e si considerano produttive di reddito agrario.

Legge finanziaria 2007

L'art. 1, comma 384, della Legge 27 dicembre 2006 n. 296 (Legge finanziaria 2007), ha introdotto l'aliquota IVA del 10% per servizi, apparecchiature, materiali e per la fornitura di calore ad uso domestico attraverso reti pubbliche di teleriscaldamento, o nell'ambito del contratto servizio energia.

L'art. 1, comma 344, della finanziaria 2007 stabilisce inoltre uno sgravio fiscale del 55% per gli interventi di riqualificazione energetica di edifici esistenti.

Decreto Ministeriale 11 marzo 2008

L'art. 1, comma 2, del Decreto Ministeriale 11 marzo 2008, prevede che, se l'intervento di riqualificazione energetica di cui all'art. 1, comma 344, della finanziaria 2007, include la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili, tali generatori devono contestualmente rispettare le seguenti ulteriori condizioni:

a) avere un rendimento utile nominale minimo conforme alla classe 3 di cui alla norma europea UNI-EN 303-5;

b) rispettare i limiti di emissione di cui all'Allegato IX alla parte quinta del D.lgs. 3 aprile 2006, n. 152, e successive modifiche e integrazioni, ovvero i più restrittivi limiti fissati da norme regionali, ove presenti;

c) utilizzare biomasse combustibili ricadenti fra quelle ammissibili ai sensi dell'Allegato X alla parte quinta del medesimo D.lgs. 3 aprile 2006, n. 152, e successive modifiche e integrazioni.

Legge finanziaria 2008

L'art. 1, commi 20 e 24, della Legge 24 dicembre 2007 n. 244 (Legge finanziaria 2008), prorogano al 2010 le agevolazioni previste dall'art. 1, comma 344, della finanziaria 2007. Inoltre per le spese sostenute a decorrere dal 2008 è possibile ripartire la detrazione "in un numero di quote annuali di pari importo non inferiore a tre e non superiore a dieci, a scelta irrevocabile del contribuente, operata all'atto della prima detrazione".

L'art. 2, comma 134, della Legge finanziaria

2008 stabilisce invece che le cooperative e i loro consorzi − di cui all'art. 8 del D.lgs. 18 maggio 2001, n. 227 − che hanno sede ed esercitano prevalentemente le loro attività nei Comuni montani e che, conformemente alle disposizioni del proprio statuto, esercitano attività di sistemazione e manutenzione agraria e forestale, possono ricevere in affidamento diretto dagli enti locali e dagli altri enti di diritto pubblico i servizi tecnici, la realizzazione e la gestione di impianti di produzione di calore alimentati da fonti rinnovabili di origine agroforestale, a condizione che l'importo dei lavori o servizi non sia superiore a 190.000 € per anno.

Legge finanziaria 2009

L'art. 2 comma 12 dalla Legge 22 dicembre 2008 n. 203 (Legge finanziaria 2009) conferma e proroga senza alcun limite temporale le agevolazioni fiscali per le reti di teleriscaldamento alimentate con biomassa ovvero con energia geotermica, di cui all'art. 6 del Decreto legge 1° ottobre 2001, n. 356, convertito, con modificazioni, dalla Legge 30 novembre 2001, n. 418.

L'art. 6 della Legge 30 novembre 2001, n. 418 stabilisce che l'ammontare delle agevolazioni fiscali con credito d'imposta prevista dall'art. 8, comma 10, lettera *f)*, della Legge 23 dicembre 1998, n. 448, e successive modificazioni, è aumentato di lire 30 per ogni chilowattora (kWh) di calore fornito.

Si sottolinea, inoltre, che a livello regionale sono presenti normative di settore a supporto della filiera legno-energia e che nel Piano di Sviluppo Rurale 2007-2013 generalmente sono previste dalle varie Regioni misure che incentivano la produzione e l'impiego di biomasse agroforestali ad uso energetico.

I tre modelli di filiera che abbiamo descritto sono caratterizzati da indici di replicabilità elevati e possono essere realizzati in molteplici contesti. Queste filiere sono basate su impianti di piccola e media potenza, in grado di attuare una "produzione di energia distribuita" che coinvolge pienamente le aziende agroforestali locali, capaci di conseguire livelli di remunerazione significativi a seconda del modello attuato, valorizzando nel contempo le risorse forestali locali.

Proprio in questo tipo di filiere, in cui gli operatori agroforestali assumono un ruolo di primo piano con la propria professionalità e capacità produttiva, si creano le maggiori garanzie anche in termini ambientali, perché l'approvvigionamento degli impianti si basa su quanto il territorio locale può offrire secondo i principi della sostenibilità.

3. Aspetti ambientali della filiera legno-energia

Alessio Bartolini, Claudio Resti - Wwf Ricerche e Progetti srl

Produzione di combustibili legnosi e sostenibilità

Nel considerare gli aspetti ambientali della filiera legno-energia sono doverose alcune considerazioni sulla produzione di combustibili legnosi nell'ambito della multifunzionalità del bosco e della sostenibilità dello sfruttamento delle risorse forestali.

Nella lunga fase che ha preceduto l'attuale dominio dei combustibili fossili, la legna da ardere, e ancor più il carbone vegetale da essa ricavato, hanno avuto un ruolo di notevole importanza nell'approvvigionamento energetico domestico e industriale.

È noto, ad esempio, che nelle aree collinari e montane a economia integrata, sedi di antiche attività artigiane e insediamenti protoindustriali, vi fosse un forte sfruttamento delle risorse forestali, come si può ancora vedere dalle vecchie foto della prima metà del Novecento.

A partire dalla metà del secolo scorso le trasformazioni socioeconomiche, innescate in ultima analisi dalle innovazioni scientifiche e tecnologiche e dall'immissione nei sistemi produttivi di grandi quantitativi di energia ricavata da giacimenti fossili, hanno determinato un diffuso abbandono delle tradizionali attività agrosilvopastorali tipiche delle aree rurali collinari e montane. In conseguenza della diminuita frequenza e intensità delle utilizzazioni, i boschi sono cresciuti in provvigione legnosa e in molti contesti anche in estensione, sia per effetto di rimboschimenti artificiali, sia per spontanea evoluzione di pascoli e seminativi abbandonati.

Da un quarto di secolo a questa parte tuttavia la domanda di legna da ardere ha ripreso a crescere, all'inizio lentamente e per effetto di fenomeni contingenti (come il boom delle seconde case), poi in maniera più consistente, grazie anche agli sviluppi tecnologici che hanno consentito di valorizzare sempre più le potenzialità energetiche del legno.

Panoramica di superficie boscata

Oggi l'interesse per questa fonte di energia "così poco moderna" è sempre maggiore, tanto che essa viene considerata in Europa una delle più promettenti alternative ai combustibili fossili.

Se da un lato il recupero di una più intensa attività di sfruttamento del patrimonio forestale è avvertito in termini positivi per le ricadute anche di carattere sociale su determinati contesti a economia svantaggiata, dall'altro esso può suscitare anche qualche fondata preoccupazione, soprattutto in considerazione del fatto che per il legno da energia il fattore quantità è quello di maggiore importanza.

Oggi infatti certe funzioni del bosco che in passato erano poco avvertite, o comunque ritenute del tutto secondarie rispetto alla produzione legnosa, hanno assunto un interesse elevato (l'economia definisce questi beni e servizi con il termine di esternalità, a sottolinearne la ricaduta positiva sull'intera collettività, ovvero all'esterno del sistema aziendale forestale tradizionale). Fra queste si collocano la difesa del suolo e la mitigazione del rischio idraulico, l'uso turistico-ricreativo degli ecosistemi forestali, la conservazione della diversità biologica, l'immagazzinamento del carbonio ecc.

Il principio della multifunzionalità del bosco, ormai ampiamente riconosciuto, implica un'accurata pianificazione territoriale, in quanto non tutte le funzioni del bosco sono massimizzabili contemporaneamente nello stesso sito forestale.

Ad esempio le esigenze di conservazione della diversità biologica, che sembra incontrare condizioni particolarmente favorevoli all'interno di ecosistemi maturi, nei quali la necromassa legnosa, a terra e in piedi, risulta abbondante (ad esempio, Stevens, 1997; Samuelson *et al.*, 1994) sono difficilmente conciliabili con forme di governo e trattamento del bosco volte a massimizzare la produzione legnosa.

Per questi motivi anche l'impiego di legno a fini energetici deve essere inserito nell'ambito di un contesto di gestione sostenibile delle foreste:

- sostenibilità a livello della gestione del singolo sito forestale, misurata con la capacità di mantenere nel tempo la funzione preminente a esso attribuita;
- sostenibilità della gestione a livello comprensoriale (ma anche regionale, nazionale e globale), misurata con la capacità di mantenere nel tempo tutte le funzioni riconosciute alle foreste (Lombardi, 1998).

D'altra parte occorre considerare che la crescita del valore del legno da energia rappresenta anche un'occasione per rendere economicamente sostenibili molte pratiche di buona selvicoltura, a cominciare da una ripresa dei diradamenti negli impianti artificiali di conifere. Può inoltre consentire di attivare una gestione redditizia di soprassuoli problematici, come ad esempio i tanti robinieti collinari e montani appenninici, che, in assenza di tempestivi interventi di utilizzazione, potrebbero andare incontro a fenomeni di instabilità.

Inoltre, se razionalmente inserita all'interno di una gestione pianificata, la produzione di biomassa forestale ad uso energetico presenta anche vantaggi ambientali importanti rispetto alle produzioni agricole a ciclo annuale dedicate a tale scopo:

- dal punto di vista energetico essa non richiede gli investimenti di energia sussidiaria (lavorazioni del terreno, impiego di fertilizzanti ecc.) necessari nelle coltivazioni erbacee;
- dal punto di vista del suolo, non solo vi sono vantaggi nei riguardi dell'erosione e della difesa idrogeologica, ma anche ai fini della conservazione della sostanza organica nel terreno e con essa del carbonio incorporato;
- indubbi vantaggi sono presenti anche dal punto di vista della tutela della biodiversità e del paesaggio (Bauen *et al.*, 2004).

LA DISPONIBILITÀ DI BIOMASSE LEGNOSE PER USO ENERGETICO

A rendere il legno di particolare interesse quale fonte di energia rinnovabile per il nostro Paese è la sua diffusa disponibilità: quasi un terzo della superficie nazionale è interessata da formazioni forestali. A questo si aggiunga che, mentre fino alla metà del secolo scorso la produzione forestale a fini energetici era spesso connessa a un prelievo eccessivo rispetto alla capacità produttiva degli ecosistemi, la ripresa dei tagli, dopo la fase di rallentamento delle utilizzazioni negli anni sessanta, settanta e ottanta, avviene in un quadro complessivo di sostenibilità: l'utilizzazione di 1-1,5 mc/ha/anno (totale dei prelievi riferito alla superficie forestale ISTAT) consente comunque una significativa crescita delle provvigioni medie unitarie (Pettenella *et al.*, 2004).

L'indice di boscosità di molte regioni italiane (soprattutto quelle ricche di rilievi collinari e montani) risulta molto elevato e lo sfruttamento della produzione legnosa potrebbe essere implementato, senza danneggiare gli ecosistemi forestali, né pregiudicandone ulteriori funzioni.

Esistono anche altre attività interessate alla produzione di biomassa legnosa, dalle quali è possibile ottenere:

- residui di potature (agricole e urbane);
- prodotti legnosi derivanti da attività di ripulitu-

Cippatura di potature in ambito urbano

Il recupero di biomasse dagli interventi di ripulitura dei corsi d'acqua è ancora poco sviluppato

ra di scarpate, linee elettriche, sponde di corsi d'acqua ecc.;
- scarti dell'industria del legno.

Infine, meritano una particolare attenzione le coltivazioni di specie legnose dedicate alla produzione energetica, considerata la necessità di attivare processi di conversione e diversificazione delle produzioni agricole, dettati a livello comunitario anche dall'esigenza di garantire sul piano ambientale pratiche ecologicamente più rispettose.

La presenza, effettiva o potenziale, delle risorse naturali e delle attività dalle quali la biomassa legnosa trae origine, rappresenta il principale fattore su cui valutare la vocazione di un comprensorio a sviluppare *filiere corte* biomassa-energia.

Una previsione realistica deve tuttavia tenere conto del quadro complesso di sostenibilità (biologico-ecologica, economica, tecnica e istituzionale) entro cui una disponibilità teorica può effettivamente verificarsi. Per compiere valutazioni di questo tipo sono stati elaborati vari metodi di calcolo mediante il ricorso a nuove tecnologie informatiche di analisi spaziale.

Naturalmente anche altri fattori, come il dinamismo di soggetti pubblici e privati (imprese agroforestali, impiantistiche ecc.), la presenza di infrastrutture in grado di agevolare le operazioni di raccolta e conferimento all'impianto, la coesione del tessuto sociale e altro, concorrono a determinare su scala locale il quadro delle condizioni necessarie a sviluppare filiere corte finalizzate alla produzione di energia da fonti rinnovabili.

Nel complesso la situazione energetica italiana evidenzia una condizione di scarsa valorizzazione delle biomasse legnose a fronte delle potenzialità di cui dispone. Da alcune recenti stime emerge infatti una disponibilità di biomasse residuali di vario genere equivalente a circa 27 Mtep/anno, che potrebbe coprire il 14% della domanda interna di energia. La domanda energetica del nostro Paese è di poco inferiore ai 200 Mtep/anno, a fronte di una domanda mondiale prossima ai 10.000 Mtep/anno.

In particolare, si registra una produzione modesta di biomasse da aree boscate e da colture dedicate: solo un terzo della naturale produttività delle foreste italiane è utilizzato a fini economici e altrettanto limitato è per il momento il ricorso alle colture agrarie a esclusivo uso energetico (Galli & Pampana, 2004).

I VANTAGGI DELL'INTRODUZIONE DI COLTURE A CICLO POLIANNUALE DEDICATE AD USO ENERGETICO

Attualmente in tutto il mondo crescono le coltivazioni di specie erbacee e legnose dedicate ad uso energetico.

Nei Paesi a economia svantaggiata l'introduzione delle colture dedicate alla produzione di biomasse non sempre avviene in un quadro di sostenibilità ecologica e/o sociale. È presente un rischio elevato che per l'introduzione di queste colture siano distrutti ecosistemi naturali a elevata produttività primaria (e diversità biologica), o che esse possano determinare un peggioramento delle condizioni di vita delle comunità locali, se praticate in sostituzione delle tradizionali colture destinate all'alimentazione umana. È necessario quindi, al fine di evitare pesanti ricadute ambientali e sociali, che tale processo sia opportunamente governato dalle organizzazioni di diritto internazionale e in sede di accordi politici ed economici fra gli Stati.

Nei Paesi a economia avanzata il ricorso alle colture da biomasse rappresenta un'importante oppor-

Cardo in fioritura, coltura annuale

tunità non solo sul piano economico, ma anche dal punto di vista ambientale.

Occorre tuttavia distinguere fra diverse tipologie di colture. Quelle a ciclo annuale, pur richiedendo una quantità significativamente minore di energia sussidiaria rispetto a colture destinate all'alimentazione animale, possono presentare elementi di criticità, soprattutto in relazione al mantenimento, nel medio e lungo periodo, di condizioni di fertilità del suolo. A preoccupare è soprattutto la conservazione della componente organica del suolo, che, in assenza di reintegrazioni, rischia di essere depauperata per effetto dei processi ossidativi indotti dalle lavorazioni annuali del terreno (Mazzoncini & Bonari, 2007).

Le colture a ciclo poliannuale presentano vantaggi ambientali di gran lunga maggiori rispetto a quelle a ciclo annuale, talune approssimandosi a formazioni forestali intensivamente utilizzate. Quest'ultimo riferimento è relativo alle cosiddette *Short Rotation Forestry* (SRF), impianti di specie legnose a rapido accrescimento, governati a ceduo con turni brevissimi (2-5 anni). Le SRF presentano un bilancio del carbonio organico del suolo decisamente più favorevole rispetto alle tradizionali colture agrarie, subentrando alle quali possono arrivare a incrementare di tre o quattro volte le riserve di carbono nel terreno (Bonari *et al.,* 2004).

Ciò si traduce da un lato in un incremento della fertilità del terreno e dall'altro in un effetto di C-ritenzione, cioè di stoccaggio del carbonio circolante.

Altri vantaggi riferibili alle SRF attengono al limitato ricorso a energia sussidiaria in forma di fertilizzanti e fitofarmaci e alla riduzione dei rischi di inquinamento delle acque superficiali e di falda. La somministrazione di fertilizzanti può essere almeno in parte sostituita da consociazioni di specie erbacee azoto-fissatrici, soprattutto nelle fasi iniziali dell'impianto. Al tempo stesso un ricorso minore (o nullo) alle lavorazioni e ai prodotti ausiliari migliora il bilancio energetico (oltre a quello economico), in quanto l'*energia grigia* impiegata a impianto affermato si concentra sostanzialmente nella sola raccolta del prodotto.

Anche sotto il profilo della biodiversità, l'introduzione di nuove specie da energia nei comprensori agricoli può avere effetti positivi, soprattutto contrastando la tendenza a un'eccessiva semplificazione degli avvicendamenti colturali. Tuttavia tale valutazione varia a seconda del diverso valore ecologico del tipo di colture che si vanno a sostituire – ad esempio, prati-pascoli stabili, piuttosto che seminativi – e della tipologia delle colture da energia impiegate.

Il grado di biodiversità delle colture energetiche annuali e quello delle colture erbacee tradizionali risulta del tutto analogo. Al contrario, nelle SRF l'assenza di lavorazioni del terreno, la tolleranza di specie erbacee spontanee e l'idoneità delle formazioni a offrire rifugio determinano condizioni favorevoli all'insediamento di comunità di invertebrati, piccoli mammiferi e uccelli, e inoltre la possibilità di implementare la vocazione dei comprensori agricoli a ospitare popolazioni di lagomorfi (lepre e coniglio selvatico) e ungulati, come il cinghiale e il capriolo.

In questo senso una ricaduta di notevole significato ambientale e paesaggistico potrebbe discendere da una reintegrazione nelle aree agricole di siepi e filari frangivento: formazioni di grande significato ecologico ai fini della diversificazione e della connessione degli habitat.

In passato il trattamento delle siepi avveniva con regolarità, in funzione della raccolta di vari prodotti utili, come la "frasca" da foraggio, la paleria, la legna da ardere ecc. Venuta meno l'importanza di tali beni,

Particolare della raccolta di canna comune, coltura poliannuale

Fase di raccolta in impianto di Short Rotation Forestry di pioppo

siepi e filari sono stati considerati solo un ostacolo alla lavorazione meccanizzata dei campi e pertanto estirpati. Oggi la possibilità di ricavarne un reddito, grazie alla produzione di biomassa legnosa, rappresenta, unitamente agli incentivi inseriti nelle misure agro-ambientali dei Piani di Sviluppo Rurale (PSR), un'importante occasione per la loro ricostituzione.

La necessità di ridurre al minimo le attività di trasporto

L'approvvigionamento locale della fonte energetica rappresenta sotto il profilo ambientale un notevole valore aggiunto.

Il trasporto costituisce, infatti, un aspetto particolarmente critico della problematica energetica e delle emissioni inquinanti.

L'efficienza dei motori dei mezzi che operano il trasporto su gomma si attesta su valori compresi fra il 20 e il 25%, e nel nostro Paese il contributo (in continua crescita) alle emissioni climalteranti di questo settore è pari a circa un terzo di quello totale.

In Italia l'industria energetica potrebbe percorrere le stesse scelte compiute dall'industria manifatturiera del legno, che da tempo preferisce affidarsi all'importazione di materia prima dall'estero piuttosto che sviluppare una filiera di approvvigionamento efficace in grado di attingere alle risorse locali. Per i gestori di medie e grandi centrali elettriche i costi di trasporto connessi all'approvvigionamento sul mercato estero possono essere economicamente sostenibili per ragioni di economia di scala, stante il concorrenziale prezzo dei prodotti lignocellulosici rispetto ad altri vettori energetici.

È evidente tuttavia che le motivazioni che stanno alla base delle esigenze di sostituire le fonti energetiche tradizionali con quelle rinnovabili impongono scelte politiche diverse da quelle dettate dalle sole logiche di mercato.

Il grado di diffusione sul territorio e il dimensionamento degli impianti dovrebbero tenere conto dell'esigenza di minimizzare le distanze di trasporto del combustibile, contenendole entro un raggio massimo di 10-20 chilometri. A tale riguardo sono state sviluppate delle metodologie di valutazione dei costi economici e ambientali del trasporto, che sono parte integrante del processo di definizione delle scelte relative alle dimensioni e alla localizzazione degli impianti, all'ampiezza e all'articolazione dei bacini di raccolta. Di particolare interesse è l'algoritmo su base GIS messo a punto nell'ambito del Progetto BioSit (Bernetti & Fagarazzi, 2003).

Esso ha consentito di realizzare un software in grado di calcolare, a partire da un insieme di localizzazioni geografiche potenziali e da un set di taglie di impianto da considerare, le emissioni di inquinanti dovute al trasporto, in termini di qualità, di quantità e di localizzazione delle stesse. È possibile inoltre calcolare il costo della biomassa conferita all'impianto e i costi di trasporto. Naturalmente, come ogni strumento di analisi basato sul sistema informativo territoriale, esso necessita della disponibilità di un dettagliato quadro conoscitivo del territorio considerato.

Nel caso di impianti destinati al riscaldamento di più edifici (teleriscaldamento), oltre al trasporto del combustibile, occorre considerare anche le problematiche relative al trasporto dell'energia termica prodotta. Il teleriscaldamento consiste nel trasporto, mediante un termoconvettore fluido (generalmente l'acqua), di grandi quantità di calore da un generatore di energia termica alle utenze.

Anche qui occorre limitare per quanto possibile i

Esecuzione di tagli di diradamento in pineta

consumi energetici richiesti per la veicolazione dell'acqua calda, collocando il generatore di calore in posizione baricentrica rispetto agli edifici che si intendono servire. Si tenga conto che anche sotto il profilo economico l'azionamento delle pompe elettriche necessarie per la circolazione dell'acqua rappresenta di norma una voce di primo piano nei costi di gestione dell'impianto. Reti di distribuzione molto estese comportano inoltre una certa dispersione di calore.

Un impianto di teleriscaldamento è comunque un impianto centralizzato e perciò consente vantaggi rispetto a impianti termosingoli in termini di: rendimenti di combustione più elevati (non ottenibili in caldaie troppo piccole e/o soggette a frequenti operazioni di accensione e spegnimento), maggiori possibilità di investimenti e di soluzioni tecnologiche da adottare per il contenimento e il monitoraggio delle emissioni inquinanti.

Per gli impianti alimentati con il legno, diversi studi dimostrano che i maggiori vantaggi economici e ambientali sono raggiunti da impianti di teleriscaldamento di dimensioni medio-piccole, con generatori di energia termica di potenza solitamente inferiore al MW (Veronese *et al.*, 2003).

Per tutti i motivi sopra esposti è necessario puntare sulle filiere corte, mediante l'organizzazione *in loco* di aziende e di professionalità e sul coinvolgimento degli utenti.

La combustione del legno e l'inquinamento dell'aria

Dalla combustione del legno si ottengono emissioni gassose e solide.

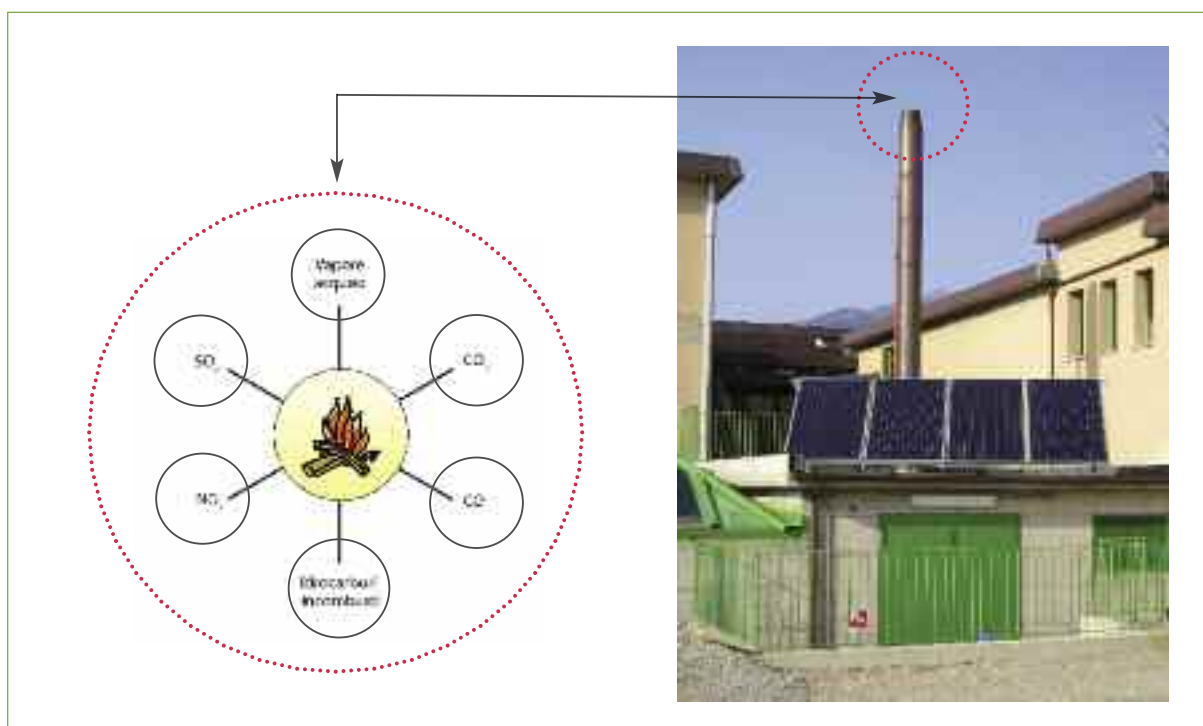
La componente gassosa è costituita principalmente da vapore acqueo e anidride carbonica, ma sono presenti anche ossidi di azoto (NO_x), ossidi di zolfo (SO_x), monossido di carbonio (CO) e idrocarburi incombusti (HC). I valori di azoto presenti nel legno sono di norma superiori rispetto a quelli contenuti nei combustibili fossili; mentre il tenore di zolfo, che risulta elevato nel carbone e nel gasolio, nel legno è bassissimo (spesso inferiore allo 0,1%).

Tutte queste sostanze sono irritanti delle vie respiratorie. Il monossido di carbonio interferisce con i processi respiratori in quanto si lega all'emoglobina del sangue e impedisce il trasporto dell'ossigeno. Come è noto, elevate concentrazioni di questo gas sono letali, mentre un'esposizione frequente può essere anche causa di insorgenza di patologie del sistema nervoso. Gli ossidi di azoto sono fra i principali agenti dell'inquinamento fotochimico (formazione di ozono nella troposfera, molto aggressivo per le vie respiratorie), mentre quelli di zolfo sono i principali responsabili delle piogge acide. Gli idrocarburi incombusti rientrano fra le sostanze di provata cancerogenità (ed essendo anche la componente preponderante della frazione solida delle emissioni, possono essere assimilati anche in tale forma).

I processi di combustione generano la componente più fine del particolato presente nell'atmosfera. Le cosiddette polveri sottili, cioè quelle comprese fra 10 e 2,5 μm, e quelle ultrasottili (inferiori a 2,5 μm) costituiscono un grave fattore di rischio per la salute umana. Numerosi studi hanno dimostrato che l'esposizione prolungata e/o frequente a esse rappresenta un potenziale fattore di insorgenza di numerose patologie del sistema respiratorio e linfatico.

È necessario considerare con attenzione questo aspetto, dato che un contributo consistente alle polveri sottili presenti nell'atmosfera deriva da piccoli impianti di riscaldamento domestico.

I dati di letteratura indicano per le biomasse fattori di emissione più elevati rispetto a quelli di altri combustibili (gasolio, metano ecc.). Specialmente nelle zone rurali, il contributo alle emissioni di PM_{10} della combustione della legna può essere rilevante e può costituire un problema per l'ambiente qualora la tecnologia di combustione risulti obsoleta (Benassi *et al.,* 2005).

Tali dati si riferiscono tuttavia a sistemi di combustione e abbattimento delle emissioni superati da

Componente gassosa liberata dalla combustione del legno

un'evoluzione tecnologica che ha visto negli ultimi 25 anni un notevole avanzamento degli standard di ecoefficienza degli impianti di combustione del legno, anche su piccola scala.

Con gli impianti di ultima generazione le differenze di emissioni di polveri sottili in termini quantitativi rispetto alle caldaie a gasolio sono state annullate, mentre sul piano qualitativo la tossicità del particolato prodotto dal gasolio risulta nettamente superiore, come dimostrano recenti test di citotossicità (Nussbaumer *et al.*, 2005).

In situazioni ottimali le emissioni di PM_{10} risultano paragonabili a quelle del gas naturale. Tale condizione tuttavia si verifica solo in presenza di un concorso virtuoso di fattori di non facile realizzazione su piccola scala.

I sistemi di abbattimento delle polveri sono distinti in misure primarie, che consistono nell'ottimizzazione dei processi di combustione, e misure secondarie, ovvero l'adozione di filtri e precipitatori elettrostatici (o elettrofiltri) del particolato prodotto.

Negli impianti di piccola e media taglia (fino a 1 MW) normalmente sono applicati sistemi filtro a gravità (cicloni e multicicloni), che hanno efficacia solo sul particolato superiore a 10 micron. In questi impianti, il fattore chiave per il contenimento delle polveri sottili sta nell'ottimizzazione dei processi di combustione (che, in via teorica, se fosse completa, determinerebbe la sola fuoriuscita dal camino di vapore acqueo, CO_2 e ossidi di azoto).

In conclusione, anche se per impianti di potenza superiore ai 100 kW l'adozione di misure secondarie capaci di operare una separazione delle polveri sottili è in futuro auspicabile (Nussbaumer, 2007), per ottenere concreti benefici sulla qualità dell'aria occorre puntare da un lato su moderni apparecchi termici, caratterizzati da un'elevata efficienza e da bassi fattori di emissione, dall'altro sulla produzione di combustibili legnosi di qualità.

La certificazione delle foreste e del legno da energia

Allo scopo di promuovere in tutto il mondo una corretta gestione delle foreste e delle piantagioni sono sorte due organizzazioni internazionali non governative che hanno messo a punto standard di certificazione su base volontaria delle aree forestali e standard di certificazione di filiera per il legno (certificazione di catena di custodia). Le due organizzazioni sono *Forest Stewardship Council* - FSC e *Programme for Endorsement of Forest Certification schemes* - PEFC.

Entrambe, oltre alla certificazione di sistema (*certificazione forestale*) e alla certificazione di prodotto (*catena di custodia*), sono attive anche su un

altro aspetto della filiera dei prodotti legnosi, il settore legno-energia.

Il *Forest Stewardship Council* (FSC) include tra i suoi membri gruppi ambientalisti e sociali, comunità indigene, proprietari forestali, industrie che lavorano e commerciano il legno, scienziati e tecnici che operano insieme allo scopo di promuovere in tutto il mondo una gestione delle foreste e delle piantagioni che tuteli l'ambiente naturale. Tale gestione deve inoltre essere utile per i lavoratori e le popolazioni locali, valida dal punto di vista economico e in linea con i principi dello sviluppo sostenibile affermati nei summit di Rio de Janeiro (1992) e di Johannesburg (2002).

Il marchio FSC identifica i prodotti ottenuti nel rispetto di 10 Principi & Criteri (P&C) di buona gestione forestale riconosciuti a livello internazionale.

Il *Programme for Endorsement of Forest Certification schemes* (PEFC) gode del sostegno di numerose parti interessate, fra le quali vari soggetti della filiera foresta-legno, organizzazioni per la commercializzazione del legno, pubbliche amministrazioni, associazioni, sindacati e organizzazioni non governative.

I parametri di certificazione dello standard PEFC sono basati sui sei criteri della Conferenza di Helsinki per la gestione forestale sostenibile, sugli indicatori pan-europei per la gestione forestale sostenibile e sulle linee guida pan-europee a livello operativo per la gestione forestale sostenibile; tutti questi documenti sono stati prodotti dalla *Conferenza interministeriale europea per la Protezione delle foreste*, cioè un processo intergovernativo a cui aderisce anche lo Stato italiano.

Le aziende che operano nella filiera foresta-prodotti forestali possono aderire ai protocolli di gestione delle diverse fasi del processo produttivo definiti dal FSC o dal PEFC e ottenere il certificato di "catena di custodia", che consente di apporre sui propri prodotti i relativi marchi (FSC/PEFC) a garanzia che quel prodotto proviene da una foresta gestita in modo sostenibile.

Fra i prodotti certificati con il marchio FSC e/o PEFC sono presenti varie tipologie di combustibili legnosi, quali legna da ardere, cippato, pellet, bricchette e carbone vegetale.

A queste certificazioni si aggiungono altri marchi di qualità ambientale dei processi industriali, come gli schemi della serie ISO 14000 o la certificazione ambientale europea EMAS. Essi tuttavia non prevedono una valutazione della performance aziendale e, nello specifico dell'industria del legno, non considerano i requisiti di gestione forestale a monte della filiera.

Di rilevante interesse risultano le attestazioni specifiche per i prodotti del settore legno-energia, rilasciate sulla base dei criteri stabiliti dalla normativa europea UNI CEN/TS 14961:2005 (relativa alla caratterizzazione qualitativa dei biocombustibili), come l'attestazione *Pellet Gold*, promossa dall'Associazione Italiana Energie Agroforestali-AIEL (cfr. 5. *I combustibili legnosi*).

Occorre infatti considerare che i fattori di emissione sono fortemente dipendenti dall'idoneità dei combustibili legnosi impiegati negli apparecchi di combustione (Francescato, 2007).

LA CERTIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI TERMICI

Come già sottolineato, la fase della combustione costituisce sotto il profilo dell'impatto ambientale un anello critico della filiera legno-energia, che necessita di essere superato mediante l'incentivazione di impianti in grado di contenere le emissioni di polveri sottili e di ossidi di azoto e zolfo entro limiti accettabili.

Tali limiti sono stati introdotti nella legislazione italiana, dal DPCM 8 marzo 2002, che, dopo aver inquadrato le "biomasse vergini" (cioè non contaminate da agenti chimici) come "combustibili", ne stabilisce anche le condizioni di utilizzo e i limiti di

Tab. 1 - Limiti di emissione in caso di utilizzo di biomasse combustibili – D.lgs. 152/2006

	Potenza termica nominale				
	35-150 kW	*0,15-3 MW*	*3-6 MW*	*6-20 MW*	*> 20 MW*
Polveri totali	200	100	30	30	10*
COT (Carbonio organico totale)	—	—	—	30	10*
CO (monossido di carbonio)	—	350	300	250 150*	10*
NO_x (ossidi di azoto)	—	500	500	400 300*	100*
SO_x (ossidi di zolfo)	—	200	200	200	200*

I valori sono espressi in mg/mc. I valori contrassegnati da * sono espressi in media giornaliera, quelli che ne sono privi in media oraria.

Tab. 2 - Limiti di emissione per generatori di calore a biocombustibili solidi – Norma CEN 303-5

Alimentazione	*Potenza termica nominale (kW)*	*Limiti di emissione in mg/mc al 10% di O_2, riferiti ai fumi secchi*								
		CO			*OGC **			*Polveri*		
		Classi			*Classi*			*Classi*		
		1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
Manuale	< 50	25000	8000	5000	2000	300	150	200	180	150
	> 51 a 150	12500	5000	2500	1500	200	100	200	180	150
	>150 a 300	12500	2000	1200	1500	200	100	200	180	150
Automatica	< 50	15000	5000	3000	1750	200	100	200	180	150
	> 51 a 150	1250	4500	2500	1250	150	80	200	180	150
	>150 a 300	1250	2000	1200	1250	150	80	200	180	150

* OGC = Composti organici del carbonio.

emissione in funzione della potenza dell'impianto. Esso fissa inoltre, a partire dagli impianti di 1 MW di potenza, l'obbligatorietà o meno di dispositivi automatici di alimentazione, di misura e regolazione della temperatura e dell'O_2 in camera di combustione e di misura in continuo delle emissioni.

I valori massimi di emissioni per gli impianti di combustione di biomasse stabiliti dal DPCM sopra citato (riportati nella *tab. 1*) sono recepiti senza alcuna modifica dal D.lgs. 152/2006 (parte V) e risultano in vigore per impianti nuovi e per impianti autorizzati a partire dal 12 marzo 2002.

Una classificazione delle prestazioni degli impianti sulla base dei limiti massimi di emissioni ammessi (in funzione della potenza termica nominale e del combustibile utilizzato) è stata proposta dal Comitato Europeo di Normazione (CEN). I valori massimi stabiliti dalla norma CEN 303-5 sono riportati nella *tab. 2*; essi risultano maggiormente restrittivi per le alte potenze e le classi elevate.

Sulla base dei limiti normativi riportati e dell'esperienza già maturata da alcuni Paesi europei (ad esempio: Olanda, Germania, Austria, Svezia), è auspicabile che anche in Italia sia introdotto un programma di certificazione delle caldaie a combustibili legnosi.

La certificazione delle nuove caldaie da parte di un soggetto accreditato dovrebbe costituire una condizione irrinunciabile per l'immissione delle stesse sul mercato. Come dimostrano le esperienze realizzate in altri Paesi dell'Unione Europea, questo meccanismo potrà contribuire a sviluppare il mercato delle caldaie a biomassa legnosa nella direzione di una maggiore qualità ambientale, spingendo inizialmente i produttori ad allinearsi ai requisiti necessari per rispettare la normativa, e poi, a proseguire verso un obiettivo di eccellenza costituito da standard progressivamente più stringenti (Riva & Alberti, 2008, www.dirittoambiente.it).

4. I Protocolli Tecnici di Utilizzazione (Ptu)

4.1 Protocollo Tecnico di Utilizzazione dei boschi cedui

Carla Nati, Raffaele Spinelli
Cnr Ivalsa Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree
Stefano Verani - Cra Unità di ricerca per le Produzioni legnose fuori foresta

Introduzione

I boschi cedui occupano il 41,8% della superficie boscata dell'Italia e rappresentano pertanto una parte importante della fisionomia e dell'economia del nostro Paese. Da sempre utilizzati per la produzione di assortimenti energetici, possono fornire anche altri assortimenti molto richiesti, come paleria o materiale da triturazione per l'estrazione del tannino.

La diversità di tali soprassuoli, in termini sia di produttività (dipendente dalla composizione specifica, dalle caratteristiche stazionali, dalle forme di trattamento) che di accessibilità (morfologia, presenza di infrastrutture), determina un valore di macchiatico estremamente variabile da situazione a situazione.

Per aumentare la sostenibilità economica degli interventi condotti nei contesti più difficili occorre sfruttare al meglio le opportunità offerte oggi dal mercato della biomassa e dalla meccanizzazione forestale. Il primo infatti può fornire uno sbocco al materiale di scarto, aumentando la quota di prodotto vendibile. La seconda può contribuire a ridurre i costi di raccolta, sia in boschi degradati e pendenti, sia, in misura maggiore, in popolamenti caratterizzati da pendenze modeste e da buone condizioni di accessibilità, vicini a zone un tempo abitate e quindi dotate delle infrastrutture di base. L'innovazione del processo produttivo può basarsi, a seconda dei casi, sull'utilizzo di attrezzature semplici, come trattore e verricello, o su macchinari più complessi e produttivi ma più costosi per la piccola impresa, come il processore − attrezzatura di origine scandinava che consente la completa sramatura e depezzatura di piante già abbattute. I processori possono essere sia abbinati a motrici dedicate della stessa marca, sia applicati a motrici (escavatori o trattori), grazie a opportuni adattamenti.

La legna da ardere rappresenta l'assortimento principale dei boschi cedui

Ceduo di castagno degradato, cantiere sperimentale di Gaiole in Chianti (SI)

L'obiettivo rimane in ogni caso la produzione associata di biomassa e di altri assortimenti convenzionali, per sfruttare al meglio il prodotto legnoso. Attualmente la legna da ardere ha un valore doppio rispetto al cippato, motivo che rende di fatto impraticabile la cippatura integrale dei fusti in quei casi in cui sia possibile ricavare l'assortimento più remunerativo. Viceversa, è possibile recuperare la parte di ramaglia che normalmente viene abbandonata in bosco perché inadatta alla produzione di legna. Questo materiale può rappresentare un quantitativo addizionale di biomassa molto importante, e la sua rimozione generalmente comporta più benefici che svantaggi, migliorando il valore estetico-ricreativo del bosco ed eliminando una possibile esca per il fuoco.

Nell'ambito del progetto Woodland Energy sono stati realizzati cantieri sperimentali (casi studio), le cui caratteristiche sono state sintetizzate in apposite tabelle. Queste ultime, inoltre, riportano scenari di raccolta alternativi elaborati grazie a modelli di simulazione. I modelli riuniscono in una struttura organica le equazioni che mettono in relazione la produttività dei cantieri con le condizioni operative (ad esempio, distanza di esbosco, dimensioni delle piante ecc.). Tali equazioni sono state calcolate dal CNR IVALSA con l'analisi statistica dei dati raccolti in cantieri sperimentali analoghi. Le formule così ottenute sono relativamente semplici e intuitive: non è una sorpresa che il tempo di abbattimento e allestimento aumenti con il diametro della pianta abbattuta, o che la durata del viaggio di un trattore sia proporzionale alla distanza percorsa, al tipo di percorso e all'entità del carico trasportato. Il merito fondamentale di queste equazioni però è quello di dare un valore numerico a tali relazioni, consentendo previsioni accurate. Solo così è possibile effettuare stime affidabili condotte a parità di condizioni esterne (stessa dimensione delle piante, stessa distanza di esbosco ecc.), per verificare la convenienza di questa o quella scelta. I modelli di simulazione impiegati nel testo colmano il vuoto tra una conoscenza empirica basata sulla realtà operativa, e una costruzione teorica formulata in termini matematici.

Per quanto riguarda nello specifico l'utilizzazione dei cedui, sono stati realizzati tre cantieri sperimentali, localizzati nell'Italia Centrale, di cui due sul cerro – uno in Molise e l'altro in Toscana – e il terzo sul castagno, sempre in Toscana.

I cantieri, individuati in due tra le Regioni coinvolte nel progetto, sono stati scelti in quanto rappresentativi della realtà locale presa in considerazione.

In Molise, ad esempio, è frequente trovare boschi cedui di cerro e roverella, spesso accompagnati da acero, frassino e da un fitto sottobosco di specie arbustive. A volte lo sfruttamento di questi popolamenti risulta troppo spinto, a causa del pascolo o di interventi inappropriati, che possono avviare fenomeni di progressivo degrado. Il risultato è un insufficiente sviluppo delle querce e un'eccessiva vigoria del sottobosco.

In Toscana sono invece molto diffusi i cedui di cerro e di castagno, questi ultimi utilizzati di preferenza per la produzione di pali per le viti. Il cancro corticale del castagno è ancora presente, a vari livelli di gravità e spesso determina il deprezzamento del materiale ricavabile. In condizioni di difficile acces-

sibilità, i costi dell'intervento si combinano con lo scarso valore del materiale ricavato, rendendo antieconomico qualsiasi intervento selvicolturale, peraltro necessario per mantenere la vitalità del bosco.

I CANTIERI

Occorre tenere in considerazione le caratteristiche dei siti su cui si interviene per poter scegliere la modalità d'intervento più adatta. Tra i parametri più importanti si ricordano:

- la *pendenza:* l'acclività del terreno è determinante nel guidare la scelta verso un sistema di lavoro piuttosto che verso un altro;
- il *tipo* e le *condizioni di sviluppo del popolamento* su cui si interviene: elementi come densità del sottobosco, dimensioni delle piante, presenza di attacchi parassitari, hanno conseguenze importanti sia sulla produttività dei cantieri, sia sul tipo e il valore dei prodotti ricavabili dall'intervento;
- l'*organizzazione* e il *livello di meccanizzazione* delle ditte che operano nell'area.

Supponendo di dover effettuare un taglio ordinario di un bosco ceduo con rilascio di matricine, in relazione alla pendenza del terreno, alla tipologia, allo sviluppo del popolamento e al suo stato fitosanitario, si possono ipotizzare diverse modalità di raccolta, come indicato nello schema *Tipologie di cantiere per il taglio ordinario del bosco ceduo*.

CANTIERE 1 - INTERVENTO TRADIZIONALE

Questa tipologia di cantiere è riferibile a un bosco di cerro o roverella mediamente fertile, tagliato con un turno di 20 anni, in grado di fornire un quantitativo di biomassa pari a circa 800 q/ha, suddivisi tra legna e fascina.

In questo caso si può operare con un *intervento tradizionale*, che prevede l'abbattimento, la sramatura delle piante atterrate e la riduzione dei fusti in pezzi di circa 1,1 m di lunghezza.

L'esbosco può essere effettuato con un trattore di media potenza equipaggiato con gabbie metalliche poste sia anteriormente che posteriormente.

Le ramaglie possono essere recuperate in un secondo passaggio con un'imballatrice, applicata a un piccolo trattore da 50-60 CV. L'imballatura non è vincolata all'altezza del cumulo: l'operatore conduce il mezzo a lato del cumulo e agevola l'entrata delle ramaglie lateralmente con una forca. A titolo indicativo, dal momento che non è stato realizzato un cantiere specifico per il recupero della ramaglia con l'imballatura, si può ipotizzare, mutuando informazioni da cantieri simili, che l'operazione di imballatura abbia un costo intorno ai 37 €/h netta, ovvero escludendo i tempi improduttivi. Assumendo una produttività lorda (comprensiva dei tempi morti) di circa 8 q/h di s.f., il costo di raccolta raggiungerebbe quasi i 5 €/q s.f. (86 €/t s.s.). A tale costo si devono aggiungere i costi del trasporto del cantiere e delle balle prodotte, oltre a quello della cippatura.

Tipologie di cantiere per il taglio ordinario del bosco ceduo

	*Pendenza del terreno**	*Sviluppo del popolamento*	*Intervento selvicolturale*	*Prodotto ricavabile*
Cantiere 1	Pianeggiante (I Classe)	Ceduo in condizioni normali di sviluppo (20 anni, 9 m di h, circa 800 q/ha)	Tradizionale	Paleria, legna da ardere e balle
Cantiere 2**	Pianeggiante (I Classe)	Ceduo degradato (20 anni, Ø medio 8 cm a 1,30 m)	Raccolta associata	Paleria, legna da ardere e cippato
Cantiere 3	Pianeggiante (I Classe)	Ceduo degradato (20 anni, Ø medio 8 cm a 1,30 m)	Cippatura integrale	Cippato
Cantiere 4**	Pendente (> II Classe)	Ceduo in condizioni normali di sviluppo (30 anni, Ø medio 15 cm a 1,30 m)	Raccolta associata	Paleria, legna da ardere e cippato
Cantiere 5**	Pendente (> II Classe)	Ceduo degradato (30 anni, Ø medio 10 cm a 1,30 m)	Raccolta associata	Materiale per tannino, legna da ardere e cippato

* La superficie forestale viene ripartita in 5 classi di pendenza (Hippoliti, 1990): I Classe fino al 20%, II Classe fino al 40%, III Classe fino al 60%, IV Classe fino all'80%, V Classe oltre l'80%.

** Tipologie di cantieri sperimentali (casi di studio) realizzati nell'ambito del progetto Woodland Energy.

Cantiere 2 - Raccolta associata

Questa tipologia di cantiere è stata concretamente realizzata nell'ambito del progetto nella regione Molise (*vedi scheda*).

Il cantiere è relativo a un ceduo di cerro degradato, di circa 20 anni di età, caratterizzato da dimensioni modeste delle piante da tagliare e dalla presenza di un fitto sottobosco che ha rallentato le operazioni di raccolta e aumentato, di conseguenza, il costo dell'intervento. Gli arbusti presentano un doppio svantaggio: devono essere eliminati per non rappresentare un pericolo d'incendio e, allo stesso tempo, non costituiscono una biomassa interessante da cippare, perché molto voluminosa e poco consistente.

Se dal legname si possono ricavare assortimenti commerciali, come la legna da ardere, si procede alla produzione dell'assortimento principale e alla cippatura dello scarto (*raccolta associata*).

Precisando che *a)* 's.s.' sta per *sostanza secca*, ovvero anidra dopo essiccazione in stufa *b)* 's.f.' sta per *sostanza fresca*, ovvero con il contenuto di acqua presente al momento del taglio *c)* a causa della presenza di numerose piante secche, il *contenuto idrico* all'origine è pari al 38%, possiamo affermare che in questo cantiere la quantità di biomassa totale ricavabile è intorno alle 50 t s.s./ha (85 t s.f./ha – dato riferito al cantiere realizzato), suddivisa tra legna da ardere (507 q s.f./ha, 60% del totale) e cippato (347 q s.f./ha, 40% del totale). Per quest'ultimo vengono usati i cimali, gli arbusti e in genere il materiale legnoso sotto i 6 cm di diametro.

In terreno trattorabile (pendenza entro il 20%), una volta effettuata la ripulitura del sottobosco, si procede al taglio del ceduo e delle matricine a fine turno con motosega e al concentramento manuale dei fusti in fasci di 5-6 piante ciascuno. L'esbosco delle piante intere viene effettuato a strascico con un trattore agricolo di taglia media (70-80 CV) munito di verricello a un tamburo, fino a uno spiazzo, dove avviene la selezione tra legna da ardere e cippato. La sminuzzatura dello scarto avviene grazie a una piccola cippatrice a disco, applicata a un trattore agricolo di circa 60 CV di potenza. La cippatrice, alimentata manualmente, scarica il cippato in un rimorchio agricolo che una volta pieno viene condotto in azienda.

Nelle condizioni considerate, l'intervento di recupero del ceduo degradato non raggiunge l'autosostenibilità, e ha un costo di circa 600 €/ha. Il cippato costituisce circa il 28% del ricavo totale, e la cippatura si rivela nel complesso un'operazione neutra sotto il profilo economico, perché i ricavi sono più o meno equivalenti ai costi. Il costo unitario di produzione si attesta infatti sui 3,42 €/q, per un prezzo di mercato intorno ai 4 €/q.

L'elevato costo unitario di cippatura è in questo caso da imputarsi alla bassa produttività oraria della macchina, dovuta da un lato alle ridotte dimensioni del materiale legnoso e dall'altro all'alimentazione manuale della cippatrice.

Tab. 1 - Produttività e costi di lavorazione del Cantiere 2*

Operazione	*q/h*	*€/h*	*€/q*
Abbattimento	9,4	15	1,6
Esbosco	20,9	29	1,4
Allestimento	16,7	42	2,5
Amministrazione e spese generali (20%)**			1,1
Totale			6,6

* Calcolo indicativo delle produttività e dei costi riferiti al cantiere realizzato, caratterizzato da: diametro medio delle piante a 1,30 m di altezza pari a 7,8 cm, una distanza di esbosco di 80 m e un carico medio a viaggio di 3 q.

** La percentuale di costo delle spese di amministrazione varia secondo la complessità di gestione del cantiere.

Tab. 2 - Ipotesi di calcolo del valore di macchiatico del Cantiere 2*

Ricavo legna		
Quantità legna	q/ha	506,72
Prezzo legna	€/q	7,00
Valore legna	€/ha	3.547,04
Ricavo cippato		
Quantità cippato	q/ha	346,82
Prezzo cippato	€/q	4,00
Valore cippato	€/ha	1.387,28
Ricavo totale	*€/ha*	*4.934,32*
Costo utilizzazione	€/q	6,60
Quantità totale	q/ha	853,54
Costo totale	*€/ha*	*5.599,22*
Bilancio	*€/ha*	*-665,00*

* Il cantiere è realizzato nell'ipotesi che all'imposto la legna riceva un prezzo di 70 €/t e il cippato di 40 €/t.

Cantiere forestale dimostrativo di Trivento (IS): bosco ceduo a prevalenza di cerro

CARATTERISTICHE STAZIONALI	
Comune	Trivento (IS)
Località	Bosco Montagna
Superficie del cantiere	0,21 ha
Pendenza media	7%
Tipologia di bosco	Ceduo a prevalenza di Cerro con Carpino nero e Acero campestre
Età del soprassuolo	20 anni
Densità	3.109 piante/ha

TIPO DI INTERVENTO E RISULTATI OTTENUTI	
Trattamento selvicolturale	Taglio ordinario con rilascio di matricine
Abbattimento	Con motosega alimentata con carburante alchilato e lubrificante biologico
Esbosco	Recupero delle piante intere e concentramento all'imposto con trattore e verricello
	Macchina utilizzata: Trattore agricolo da 74 kW di potenza con verricello forestale a un tamburo
Allestimento	Depezzatura e selezione del materiale (legna da ardere e cippato) all'imposto con motosega media da 3,9 kW e cippatrice
Cippatura	Macchina utilizzata: Cippatrice a disco applicata a un trattore agricolo da 40 kW di potenza
Prelievo complessivo	106,74 mc/ha – 854 q/ha (massa volumica di 800 kg/mc)
Materiale legnoso	Legna da ardere: 63,37 mc/ha – 507 q/ha
	Cippato (ramaglia residua): 43,37 mc/ha – 347 q/ha
Stima del costo di produzione del materiale legnoso	52,8 €/mc – 6,6 €/q
Prezzo di vendita all'imposto del materiale legnoso	Legna da ardere: 6-7 €/q
	Cippato: 4 €/q

Operazione	*Squadra (n. addetti)*	*Produttività lorda* (q/h)*	*Costo (€/q)*
Abbattimento	2	9,4	1,6
Esbosco	1	20,9	1,4
Allestimento	2	16,7	2,5
Amministrazione e spese generali (20%)			1,1
Totale			*6,6*

* La produttività lorda include i cosidetti 'tempi morti', che comprendono pause degli operatori, guasti meccanici, imprevisti vari.

Cantiere 3 - Cippatura integrale

In presenza di un ceduo fortemente degradato, con materiale attaccato da parassiti corticali e storto si può ipotizzare un cantiere con una destinazione del prodotto interamente a cippato (*Cippatura integrale*). Allo scopo però dovrebbe essere impiegata una cippatrice più potente e produttiva di quella descritta nel Cantiere 2. L'efficienza del lavoro di sminuzzatura dipende infatti dalla potenza della macchina, dal tipo di alimentazione adottato (manuale o meccanico) e dalle dimensioni del materiale legnoso.

Adoperando una cippatrice come quella descritta nel Cantiere 2 non si possono ottenere produttività molto superiori ai 10 q/h e di conseguenza il costo di produzione finirà per incidere pesantemente sul risultato economico dell'operazione.

Nella *tab. 3* è riportato il bilancio di un ipotetico cantiere, analogo al precedente, dove tutto il materiale legnoso viene cippato. Il maggiore costo a quintale che ne deriva (7,3 €, contro i 6,6 € riportati nella *tab. 2*) non viene compensato da un maggior ricavo del prodotto, ma anzi penalizzato dal minor prezzo di mercato spuntato rispetto alla legna da ardere.

Tab. 3 - Calcolo del valore di macchiatico del Cantiere 3*

Ricavo cippato		
Quantità cippato	q/ha	853,54
Prezzo cippato	€/q	4,00
Valore cippato	€/ha	3.414,16
Costo cippato		
Costo utilizzazione	€/q	7,34
Quantità cippato	q/ha	853,54
Costo totale	*€/ha*	*6.264,98*
Bilancio	*€/ha*	*-2.851,00*

* Il calcolo del valore di macchiatico del cantiere ipotizza la cippatura di tutta la biomassa legnosa raccolta.

Cantiere 4 - Raccolta associata

Questa tipologia di cantiere è stata realizzata nell'ambito del progetto in Toscana (*vedi scheda*).

Il cantiere interessa un ceduo di cerro in condizioni normali di sviluppo. Quando le condizioni del bosco su cui si interviene possono definirsi normali, per densità e dimensioni delle piante presenti, l'adozione di un sistema di esbosco della pianta intera rappresenta la migliore opzione nel caso di forti pendenze (70%); se dal legname si possono ricavare assortimenti commerciali, come paleria, legna da ardere ecc., si procede con la *raccolta associata*, ovvero alla produzione dell'assortimento principale e alla cippatura dello scarto. La biomassa legnosa (con un contenuto idrico all'origine pari al 45%) ottenibile da questo tipo di cedui è di circa 141 t s.s./ha (257,2 t di s.f./ha) (dato riferito al cantiere realizzato), suddivisa tra legna da ardere (120,24 t s.s./ha – 218,62 t s.f./ha) e cippato (21,34 t s.s./ha – 38,58 t s.f./ha).

L'abbattimento è direzionato, con i calci delle piante rivolti verso monte per agevolare la successiva estrazione del legname, che avviene in salita. Per l'esbosco viene impiegata una gru a cavo a stazione motrice mobile, ad esempio un modello con motore autonomo da 105 CV e 500 m di portante. L'allestimento può essere meccanizzato utilizzando un processore a rulli montato su escavatore cingolato da 13 t. Può presentarsi l'eventualità, a causa della morfologia dell'imposto, di dover effettuare la

Tab. 4 - Calcolo indicativo delle produttività e dei costi riferiti al Cantiere 4*

Operazione	*Produttività oraria (q/h)*	*Costo orario (€/h)*	*Costo prodotto (€/q)*
Abbattimento	96,7	31,7	0,3
Esbosco**	31,3	59,7	1,9
Allestimento	131,3	89,4	0,7
Movimentazione	44,0	35,5	0,8
Amministrazione e spese generali (10%)			0,4
Totale			*4,1*

* Occorre tenere presente che il caso specifico si riferisce a un popolamento di circa 30 anni di età, con piante di diametro medio – a petto d'uomo – pari a 15,2 cm, a una distanza massima di esbosco di 215 m.

** Costi di montaggio e smontaggio della linea inclusi.

Tab. 5 - Confronto tra costi e ricavi del Cantiere 4*

	Unità di misura	*Valori*
Provvigione totale	q/ha	2.572,00
Scarto (15%)	q/ha	385,80
Legna da ardere	q/ha	2.186,20
Costo utilizzazione	€/ha	9.726,08
Ricavo totale	€/ha	13.117,20
Valore di macchiatico	€/ha	3.391,12

* Considerando il prezzo della legna da ardere all'imposto di 60 €/t.

Cantiere forestale dimostrativo di Greve in Chianti (FI): bosco ceduo a prevalenza di cerro

CARATTERISTICHE STAZIONALI

Comune	Greve in Chianti (FI)
Località	Pian di Rossaia
Superficie del cantiere	0,63 ha
Pendenza media	70%
Tipologia di bosco	Ceduo a prevalenza di Cerro (84%) con Carpino nero (8%) e Acero montano (8%)
Età del soprassuolo	30 anni
Densità	1.660 piante/ha

TIPO DI INTERVENTO E RISULTATI OTTENUTI

Trattamento selvicolturale	Taglio ordinario con rilascio di 100 matricine/ha
Abbattimento	Con motosega
Esbosco	Recupero e concentramento del materiale legnoso all'imposto con gru a cavo leggera con stazione motrice mobile
	Gru a cavo utilizzata: Valentini M550/2
Allestimento e movimentazione	Avvicinamento del materiale legnoso al processore con aggancio e trascinamento dello stesso tramite pinza idraulica montata su trattore
	Depezzatura e selezione del materiale (legna da ardere e ramaglia) con processore
	Macchine utilizzate: Trattore SAME Centurion con pinza da esbosco Eschlbock Processore Foresteri 25 RH su escavatore cingolato CAT 312 CL
Prelievo complessivo	234 mc/ha – 257,18 t/ha (massa volumica di 1100 kg/mc)
Materiale legnoso	Legna da ardere: 198,74 mc/ha – 218,62 t/ha
	Ramaglia residua: 35,07 mc/ha – 38,58 t/ha (non è stata effettuata la cippatura della ramaglia)
Stima del costo di produzione del materiale legnoso	45,45 €/mc – 50 €/t
Prezzo di vendita all'imposto	Legna da ardere: 6-7 €/q

Operazione	*Squadra*	*Produttività lorda*			*Costo*	
	(n. addetti)	*(piante/h)*	*(t/h)*	*(mc/h)*	*(€/t)*	*(€/mc)*
Abbattimento	2	57,7	9,7	8,8	3,3	3,6
Esbosco*	2	18,9	3,1	2,8	19,0	20,9
Allestimento	1	79,5	13,1	11,9	6,8	7,5
Movimentazione	1	26,7	4,4	4,0	8,1	8,9
Amministrazione e spese generali (10%)					3,7	4,1
Totale					*41,0*	*45,0*

* Inclusi i tempi di montaggio e smontaggio della linea.

Abbattimento direzionato con motosega, cantiere sperimentale di Greve in Chianti (FI)

movimentazione del materiale esboscato per qualche decina di metri, per consentire al processore di lavorare più comodamente. In tal caso può essere impiegato un trattore munito di pinza da esbosco, in grado di liberare velocemente il punto di scarico sotto la teleferica. Le piante intere, una volta sganciate, vengono afferrate a gruppi di 3-4 per volta e avvicinate al processore per l'allestimento. Le piante vengono sramate e sezionate a una lunghezza di circa 3 m perché in questo modo è più veloce ed efficiente caricarle su un mezzo di trasporto.

Anche se la cippatura non è stata effettuata nel cantiere in oggetto per problemi di tipo organizzativo, si può ipotizzare un costo intorno a 1,5-2 €/q, più il costo del trasporto dall'imposto al punto di utilizzo (circa 1 € in più per ogni quintale prodotto). Nel caso di questo cantiere, cippando e vendendo lo scarto si avrebbe un guadagno di circa 580 €/ha.

Cantiere 5 - Raccolta associata

Anche questa tipologia di cantiere è stata realizzata in Toscana e ha interessato un ceduo di castagno degradato (*vedi scheda*). Le cattive condizioni fitosanitarie determinate dal cancro corticale sono all'origine dello scarso sviluppo delle piante di castagno e della presenza di abbondante materiale secco in piedi. Da questo tipo di boschi (contenuto idrico all'origine pari al 50%) è possibile ricavare circa 33 t s.s/ha (67 t s.f./ha) suddivise tra materiale per tannino (16 t s.s./ha - 32,5 t s.f./ha), legna da ardere di latifoglie miste (12 t s.s./ha - 24,5 t s.f./ha) e cippato (5 t s.s./ha - 10 t s.f./ha). Le tre tipologie commerciali partecipano rispettivamente per il 48, 37 e 15% sul totale della biomassa disponibile.

L'elevata pendenza media (70%) e la discreta accidentalità sconsigliano la lavorazione del materiale sul letto di caduta, pertanto le piante vengono abbattute secondo una direzione preferenziale, che ne agevola l'esbosco con un sistema di gru a cavo a stazione motrice mobile con motore autonomo da 84 CV e 700 m di portante. Le piante intere, una volta sganciate, vengono afferrate sotto la linea da

Tab. 6 - Produttività e costi di lavorazione, riferiti al Cantiere 5*

Operazione	*Produttività oraria (q/h)*	*Costo orario (€/h)*	*Costo prodotto (€/q)*
Abbattimento	48,0	16,7	0,3
Esbosco**	35,9	77,3	2,2
Allestimento	45,9	89,4	2,0
Amministrazione e spese generali (10%)			0,4
Totale			*4,9*

* Calcolo indicativo delle produttività e dei costi riferiti al cantiere realizzato: il caso specifico si riferisce a un popolamento di circa 30 anni di età, con piante di diametro medio a 1,3 m di altezza pari a 10,2 cm, a una distanza massima di esbosco di 115 m.

** Costi di montaggio e smontaggio della linea inclusi.

Tab. 7 - Confronto tra costi e ricavi del Cantiere 5*

	Unità di misura	*Valori*
Provvigione totale	q/ha	670,00
Legname di castagno	q/ha	324,70
Legna da ardere	q/ha	244,90
Cippato	q/ha	100,40
Costo utilizzazione	€/ha	3.283,00
Ricavo tannino	€/ha	1.136,45
Ricavo legna da ardere	€/ha	1.469,40
*Ricavo totale***	*€/ha*	*2.605,85*
Valore di macchiatico	*€/ha*	*- 677,15*

* I prezzi, considerati all'imposto, sono di 35 €/t per il tannino e di 60 €/t per la legna da ardere.

** Mancano ricavi e costi relativi alla cippatura dello scarto.

Cantiere forestale dimostrativo di Gaiole in Chianti (SI): bosco ceduo a prevalenza di castagno

CARATTERISTICHE STAZIONALI	
Comune	Gaiole in Chianti (SI)
Località	Mello
Superficie del cantiere	0,63 ha
Pendenza media	70%
Tipologia di bosco	Ceduo a prevalenza di Castagno (64%) con Carpino nero (17%) e Acero montano (13%). È presente un forte attacco di cancro corticale, che comporta un'elevata mortalità tra le piante
Età del soprassuolo	30 anni
Densità	2.722 piante/ha (comprese piante secche)

TIPO DI INTERVENTO E RISULTATI OTTENUTI	
Trattamento selvicolturale	Taglio ordinario con rilascio di 70 matricine/ha
Abbattimento	Con motosega
Esbosco	Recupero e concentramento del materiale legnoso all'imposto con gru a cavo leggera con stazione motrice mobile
	Gru a cavo utilizzata: Greifemberg TG 700
Allestimento	Depezzatura e selezione del materiale (legna da ardere e ramaglia) all'imposto con processore
	Macchina utilizzata: Processore Foresteri 25 RH su escavatore cingolato CAT 312 CL
Prelievo complessivo	67,01 mc/ha – 67,01 t/ha (massa volumica del castagno 1000 kg/mc)
Materiale legnoso	Legna da ardere: 24,5 mc/ha – 245 q/ha (massa volumica del carpino 1000 kg/mc)
	Materiale da triturazione per la produzione di tannino: 32,47 mc/ha – 324,7 q/ha
	Ramaglia residua: 10,04 mc/ha – 100,4 q/ha (non è stata effettuata la cippatura della ramaglia)
Stima del costo di produzione del materiale legnoso	48,9 €/mc – 48,9 €/t
Prezzo di vendita all'imposto del materiale legnoso	Legna da ardere: 6-7 €/q
	Materiale da triturazione per tannino: 35 €/mc

Operazione	*Squadra*	*Produttività lorda*			*Costo*	
	(n. addetti)	*(piante/h)*	*(t/h)*	*(mc/h)*	*(€/t)*	*(€/mc)*
Abbattimento	1	73,7	4,8	4,8	3,5	3,5
Esbosco	3	52,3	3,6	3,6	21,5	21,5
Allestimento	1	66,8	4,6	4,6	19,5	19,5
Amministrazione e spese generali (10%)					4,4	4,4
Totale					*48,9*	*48,9*

Il processore su escavatore cingolato allestisce le piante prelevandole sotto la teleferica, cantiere sperimentale di Gaiole in Chianti (FI)

un processore su escavatore cingolato da 13 t. L'allestimento meccanizzato velocizza le fasi di sramatura e depezzatura delle piante, consentendo la formazione di assortimenti selezionati in base alle loro caratteristiche e dimensioni.

Il valore di macchiatico è negativo, come era facile attendersi. Nel contesto studiato meriterebbe forse considerare l'opportunità di cippare anche il materiale destinato alla produzione di tannino (pagato sui 3,5 €/q), dal momento che il cippato, laddove esistano le condizioni per il suo impiego, viene venduto tra 4 e 6 €/q franco centrale.

Anche se la cippatura non è stata effettuata nel cantiere in oggetto, si può ipotizzare un costo intorno a 1,5-2 €/q, più il costo di circa 1 € in più per ogni quintale prodotto, dovuto alla movimentazione del cantiere (trasferimento delle attrezzature sul posto di lavoro). Nel caso di questo cantiere, nella situazione più favorevole, si avrebbe un guadagno di circa 150 €/ha.

Considerazioni finali

Il recupero dello scarto derivante dall'utilizzazione dei cedui è generalmente modesto, dal momento che la tendenza consolidata è di destinare la maggior parte del legno ricavato al mercato della legna da ardere, che, stagionata, spunta prezzi di vendita doppi rispetto al cippato. Alla sminuzzatura viene destinato materiale molto minuto, sotto i 3-4 cm di diametro.

Nei cedui di cerro degradati e poveri di provvigione, la raccolta associata di legna e cippato può costituire un'opzione interessante, perché consente un migliore sfruttamento della biomassa disponibile. La valorizzazione delle ramaglie risulta economicamente vantaggiosa, solo in presenza di un mercato locale del cippato (piccole-medie centrali di teleriscaldamento localizzate nel raggio di poche decine di chilometri) e se l'impresa riesce a ridurre al minimo i costi di produzione.

Se il ceduo in cui si interviene è in normali condizioni di densità e sviluppo, con il sistema della gru a cavo a stazione motrice mobile si possono portare fuori le piante intere e recuperare un 15% circa di scarto. Requisiti fondamentali per un'efficiente impostazione del cantiere sono: l'abbattimento direzionato delle piante, il tracciamento della linea di esbosco prima del montaggio dell'impianto di gru a cavo e la creazione di una riserva di piante esboscate pronte per essere lavorate dal processore, attrezzatura più produttiva rispetto alla teleferica.

L'allestimento meccanizzato all'imposto permette di aumentare notevolmente la produttività in termini di massa oraria, abbassando i costi e migliorando anche l'ergonomia e il confort degli operatori. Lo scarto di lavorazione accumulato all'imposto può essere trasformato in cippato in modo più efficiente ed economico. Il sistema di alimentazione non può essere che meccanico, utilizzando una cippatrice industriale. In tal modo è possibile contenere il costo di lavorazione entro i limiti di convenienza economica.

Quando il ceduo, come nel caso del castagno, si trova in particolari condizioni di degrado (con problemi di sviluppo o fitosanitari) e impieghi alternativi, come il tannino, risultano poco remunerativi, si può optare per la cippatura integrale di tutto il materiale.

4.2 Protocollo Tecnico di Utilizzazione delle pinete artificiali

Natascia Magagnotti, Carla Nati, Raffaele Spinelli
Cnr Ivalsa Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree

Introduzione

L'attività di rimboschimento ha interessato diverse aree del territorio italiano già alla fine dell'Ottocento, ha avuto un forte impulso nei primi decenni del Novecento e si è protratta fino al secondo dopoguerra. La maggior parte degli impianti è stata effettuata con le conifere, ritenute più adatte a colonizzare terreni degradati. Nelle stazioni più povere, la scelta è caduta generalmente sui pini, che sono particolarmente frugali. Nel Nord Italia, ma anche in vaste aree del Centro-Sud, si è impiegato il pino nero, che è una tra le specie più ubiquitarie; nelle stazioni più calde, invece, si sono preferiti il pino marittimo e il pino d'Aleppo, quest'ultimo particolarmente adatto a condizioni di forte aridità.

Questi impianti hanno avuto un notevole successo, mostrando un buon attecchimento e una crescita molto rapida; tuttavia, in assenza di cure appropriate, la maggior parte delle pinete, vegeta in condizioni stazionali difficili, costituendo cenosi molto fragili, con un'eccessiva densità di popolamento, che induce a una competizione intraspecifica e indebolisce le piante rendendole più vulnerabili ai vari agenti di stress, primo tra tutti l'aridità.

Da qui l'urgente necessità di intervenire con opportuni diradamenti, con caratteristiche diverse in funzione delle condizioni del popolamento e dell'indirizzo gestionale. Idealmente, gli interventi dovrebbero essere abbastanza leggeri da non stressare il popolamento, e abbastanza frequenti da mantenere l'equilibrio tra il vigore vegetativo e la densità del soprassuolo. Purtroppo, un diradamento leggero e selettivo è particolarmente costoso, e si tende spesso a intensificare il taglio per ottenere risultati economici migliori. Oltretutto, il generale stato di abbandono di molte pinete rende necessario un prelievo più intenso, anche solo per eliminare la necromassa e i soggetti deperienti. Negli impianti più vecchi è necessario effettuare la messa

Rimboschimento di pino nero

Tipologie di cantiere per il taglio delle pinete artificiali

	Sviluppo del popolamento	*Intervento selvicolturale*	*Prodotto ricavabile*
Cantiere 1*	Modesto sviluppo (Ø medio 15 cm a 1,30 m)	Diradamento selettivo-misto	Cippato
Cantiere 2	Buono sviluppo (Ø medio 27 cm a 1,30 m)	Diradamento selettivo-misto	Tondame, paleria e cippato
Cantiere 3	Buono sviluppo (Ø medio 27 cm a 1,30 m)	Taglio a strisce	Tondame, paleria e cippato

* Tipologia di cantiere sperimentale (caso di studio) realizzato nell'ambito del progetto Woodland Energy.

in rinnovazione anticipata, effettuata con tagli a strisce o a buche; questo modo di operare è stato già sperimentato in diverse realtà forestali e presenta alcuni vantaggi importanti: innanzitutto, il taglio viene localizzato nelle aree dove è presente la rinnovazione di latifoglie da favorire; inoltre, le operazioni tecniche sono velocizzate, e l'intervento genera più legname e di miglior qualità.

Tra il 2005 e il 2007, il CNR IVALSA ha condotto 5 prove di raccolta in pinete localizzate in Friuli, Veneto e Molise, per conto rispettivamente delle Comunità Montane della Carnia e del Gemonese, dei Servizi Forestali della Regione Veneto e della Regione Molise. Da queste recenti prove provengono le conoscenze riassunte nel presente PTU.

I CANTIERI

Il cantiere più adatto per ciascuna situazione dipende da vari fattori, e in particolare da:

- *condizioni del terreno*, a seconda che queste consentano o meno l'accesso in bosco di mezzi meccanici, da cui consegue la distinzione rispettivamente tra terreni trattorabili e terreni non trattorabili;
- *grado di sviluppo del popolamento*, che si concretizza soprattutto nelle dimensioni delle piante e ha conseguenze importanti sia sulla produttività dei cantieri, sia sul tipo e il valore dei prodotti ricavabili dall'intervento;
- *tipo di intervento*, con una distinzione fondamentale tra il diradamento e la messa in rinnovazione anticipata; quest'ultima sicuramente più favorevole al movimento dei mezzi di esbosco, e capace di offrire piante di maggior taglia, a parità di condizioni;
- *livello di meccanizzazione applicabile*, che dipende in massima parte dalle condizioni dell'imprenditoria locale. La specializzazione delle ditte di utilizzazione forestale favorisce il ricorso a un livello di meccanizzazione più alto, che invece comporta investimenti troppo elevati per gli operatori tradizionali.

In linea generale possiamo ipotizzare tre diverse tipologie di cantiere in relazione allo sviluppo del popolamento (*schema* in alto).

CANTIERE 1

Nei popolamenti con sviluppo ancora modesto, generalmente si applica un diradamento selettivo-misto, così da lasciare dei corridoi di accesso per il passaggio delle macchine. L'intervento raramente raggiunge la piena sostenibilità economica dato che l'unico prodotto ricavabile è il cippato, in quantitativi che oscillano intorno ai 450-600 q/ha (cioè 25-30 t s.s./ha, con contenuto idrico di riferimento del 45%).

In ogni caso, è preferibile intervenire secondo il sistema della pianta intera, abbattendo le piante ed evitando di allestirle in bosco, o comunque riducendo l'allestimento al minimo indispensabile per consentire una movimentazione agevole.

In terreni trattorabili le piante sono abbattute con motosega ed esboscate con un trattore agricolo di taglia media (70-80 CV) munito di verricello. In alternativa si può ricorrere a un'abbattitrice applicata a un minicaricatore cingolato (tipo Bobcat), che abbatte e affastella le piante, successivamente esboscate da un trattore agricolo munito di pinza posteriore da esbosco. Questo metodo è adatto solo ai terreni pianeggianti e poco accidentati, ma consente di meccanizzare completamente il lavoro con un investimento molto modesto.

Le piante esboscate sono accatastate all'imposto e cippate intere, possibilmente dopo un breve periodo di stagionatura. Per ottenere buoni risultati conviene sempre impiegare una cippatrice industriale, con motore autonomo di oltre 200 CV.

La meccanizzazione consente un grande passo verso l'autosostenibilità dell'intervento, che però alle attuali condizioni di mercato diventa remunerativo solo quando il diametro medio a petto d'uomo delle piante prelevate raggiunge i 20 cm. Il diradamento effettuato con sistemi manuali (motosega e verricello) è generalmente oneroso, anche se la

Caricatore cingolato con sega a disco, cantiere sperimentale di Guardialfiera (CB)

Esbosco con trattore agricolo e pinza da strascico posteriore, cantiere sperimentale di Guardialfiera (CB)

possibilità di produrre cippato consente di ridurne sensibilmente il costo. Nei terreni non trattorabili il lavoro può essere effettuato ricorrendo alle teleferiche, ma il costo dell'intervento è sproporzionato rispetto al valore attuale del cippato ottenibile.

Questa tipologia di cantiere è stata realizzata nell'ambito del progetto nella regione Molise; per ulteriori approfondimenti si veda la scheda tecnica del cantiere dimostrativo di Guardialfiera (CB), alla pagina seguente.

Tab. 1 - Simulazione delle principali strategie operative per i primi diradamenti - Cantiere 1**

		Terreno trattorabile		*Teleferica*
		Meccanizzaz. media	*Meccanizzaz. alta*	*Meccanizzaz. media*
ABBATTIMENTO				
Mezzo		motosega	bobcat	motosega
Operai	n.	1	1	1
Produttività	t/h	6,4	5,1	5,5
Costo	€/t	3,3	10,5	3,8
ESBOSCO				
Mezzo		trattore	trattore	teleferica
Operai	n.	3	1	4
Produttività	t/h	2,3	4,2	2,7
Costo	€/t	32,1	9,8	37,6
CIPPATURA				
Mezzo		cippatrice	cippatrice	cippatrice
Operai	n.	1	1	1
Produttività	t/h	13,7	7,6	7,2
Costo	€/t	11,1	12,1	12,7
TOTALE				
Costo	€/t	46,5	32,4	54,1
Ricavo	€/t	33,0	33,0	33,0
Guadagno	€/t	-13,5	0,6	-21,1
Produzione	t/ha	60,0	60,0	60,0
Macchiatico	*€/ha*	*-810,0*	*36,0*	*-1266,0*

** La simulazione è basata su un apposito modello di calcolo sviluppato in base ai dati ottenuti dai cantieri sperimentali. La tabella illustra le produttività e i costi ottenibili per le 3 modalità di applicazione relative al cantiere 1, ipotizzando un intervento su 3 ettari, un diametro medio del popolamento di 15 cm e una distanza massima di esbosco pari a 250 m.
Il prezzo, considerato all'imposto, è pari a 33 €/t di cippato fresco, nell'ipotesi che il trasporto incida per 12 €/t su un prezzo totale di conferimento pari a 45 €/t franco centrale.

Cantiere forestale dimostrativo di Guardialfiera (CB): pineta artificiale di pino d'Aleppo

Caratteristiche stazionali

Comune	Guardialfiera (CB)
Località	Liscione
Superficie del cantiere	1,03 ha
Pendenza media	5%
Tipologia di bosco	pineta artificiale di pino d'Aleppo
Età del soprassuolo	25 anni
Densità	1.670 piante/ha

Tipo di intervento e risultati ottenuti

Trattamento selvicolturale	Diradamento selettivo
Abbattimento e affastellamento	Effettuati con sega a disco applicata a un piccolo caricatore cingolato L'abbattitrice taglia le piante e le atterra, disponendole in fasci di 3-6
	Macchina utilizzata: Minicaricatore Bobcat T-250 Hi-Flow equipaggiato con sega a disco Davco QC1400
Esbosco	Recupero delle piante intere e concentramento all'imposto con trattore compatto equipaggiato con una pinza da strascico posteriore. L'utilizzo della pinza consente di effettuare l'esbosco a semistrascico con le teste sollevate da terra
	Macchina utilizzata: Trattore Valpadana 6064 equipaggiato con pinza da esbosco Japa SG
Allestimento - Cippatura	Le piante intere sono sminuzzate all'imposto con cippatrice mobile a motore autonomo
	Macchina utilizzata: Cippatrice Pezzolato PTH 700
Trasporto	Il trasporto del materiale è stato effettuato con autocarro su una distanza di circa 24 km
Prelievo complessivo	52 t/ha
Materiale legnoso	Cippato: 52 t/ha
Stima del costo di produzione del materiale legnoso	53 €/t
Prezzo di vendita del cippato (compreso il trasporto)	Cippato 45 €/t

Operazione	*Squadra*	*Produttività lorda*		*Costo*	
	(n. addetti)	*(piante/h)*	*(t/h)*	*(€/h)*	*(€/t)*
Abbattimento	1	45,7	5,21	54	10,4
Esbosco	1	36,4	4,15	41	9,9
Allestimento-cippatura	1	66,8	7,62	92	12,1
Trasporto	1	42,1	4,80	54	11,2
Totale					*43,6*

N.B. - Il calcolo esclude il trasferimento dei cantieri, che incide per circa 10 €/t.

Cantiere 2

Nei popolamenti con buono sviluppo sottoposti a diradamento selettivo-misto, si può produrre cippato ed eventualmente anche una certa quota di legname per uso strutturale – soprattutto paleria, oggi abbastanza apprezzata dal mercato. In linea di massima, le quantità ricavabili sono indicativamente di 450 q/ha per il cippato e 250-300 q/ha per il tondame (rispettivamente 25 e 15 t s.s./ha, con un contenuto idrico di riferimento del 45%).

Il lavoro deve essere effettuato secondo il sistema del legno corto modificato, cioè trasformando il fusto in tronchi di 4-6 m, ma lasciando intera la porzione di cimale destinata alla cippatura. Nella versione a bassa meccanizzazione, le piante saranno abbattute e allestite da un motoseghista ed esboscate con un trattore munito di verricello, mentre in quella meccanizzata si opterà per la coppia *harvester-forwarder* – cioè rispettivamente di una prima macchina capace di abbattere e allestire le piante, e di una seconda in grado di caricare il legname e portarlo fino all'imposto grazie a un pianale e a una gru incorporati. Una volta all'imposto, tronchi e cimali saranno accatastati separatamente: i cimali saranno cippati direttamente all'imposto, preferibilmente con una cippatrice industriale.

Il cantiere può raggiungere la sostenibilità economica, soprattutto nella versione meccanizzata – specie se questa è applicata con razionalità. Tuttavia i margini sono molto ristretti, vista la moderata entità del prelievo e il valore modesto del legname ricavato.

Anche qui, nei terreni non trattorabili il lavoro può essere effettuato ricorrendo alle teleferiche, ma il costo dell'intervento è sproporzionato rispetto al valore attuale del cippato ottenibile.

La *tab. 2* riporta una simulazione effettuata per quattro tipi di interventi, tutti basati su cantieri a meccanizzazione intermedia (motosega, trattore e verricello, cippatrice), ma differenti per il tipo di trattamento e di strategia assortimentale. È stato ipotizzato un intervento su 3 ettari, un diametro medio del popolamento di 27 cm, una distanza massima di concentramento di 60 m e una distanza di esbosco pari a 250 m. Per il trasporto del cippato è stata considerata una distanza di 35 km, immaginando la presenza di una rete di impianti diffusi

Tab. 2 - Simulazione effettuata per 4 tipi di interventi, basati su cantieri a meccanizzazione intermedia

Intervento a buche di 40 x 15 m						*Intervento selettivo*	
Solo Tondame		*Tondame e Biomassa*		*Solo Biomassa*		*Solo Biomassa*	
Abbattimento+Allestimento		Abbattimento+Allestimento		Abbattimento		Abbattimento	
Trasferimento*	€ 0	Trasferimento	€ 0	Trasferimento	€ 0	Incluso nell'esbosco	
ore	43	ore	43	ore	26	ore	0
	€ 908		€ 908		€ 555		€ 0
Esbosco		Esbosco		Esbosco		Abbattimento ed Esbosco	
Trasferimento	€ 43	Trasferimento	€ 43	Trasferimento	€ 43	Trasferimento	€ 43
ore	39	ore	83	ore	83	ore	61
	€ 2938		€ 6260		€ 6260	Euro	5923
Cippatura		Cippatura		Cippatura		Cippatura	
Trasferimento	€ 0	Trasferimento	€ 57	Trasferimento	€ 57	Trasferimento	€ 57
ore	0	ore	9	ore	18	ore	11
	€ 0		€ 1440		€ 2713		€ 1618
Trasporto		Trasporto		Trasporto		Trasporto	
ore	0	ore	20	ore	38	ore	23
	€ 0		€ 1345		€ 2534		€ 1511
Macchiatico		*Macchiatico*		*Macchiatico*		*Macchiatico*	
Costo	€ 3889	Costo	€ 10053	Costo	€ 12162	Costo	€ 9152
Ricavo	€ 4728	Ricavo	€ 10551	Ricavo	€ 10972	Ricavo	€ 6544
	netto €/ha 280		netto €/ha 166		netto €/ha -397		netto €/ha -869

* Trasferimento = costo di trasferimento dei cantieri tra i diversi siti di lavoro, la cui incidenza è significativa soprattutto per i cantieri che fanno ricorso ad attrezzature industriali.

sul territorio e riforniti con biomassa di provenienza locale. Il prezzo del legname è stato stimato pari a 40 €/mc per il tondame di pino accatastato all'imposto camionabile, e a 45 €/t per il cippato consegnato in centrale.

CANTIERE 3

Nei popolamenti con buono sviluppo sottoposti al taglio a strisce (messa in rinnovazione anticipata) si può ottenere una quota sostanziale di tondame e di paleria, oltre a una discreta quantità di cippato. Su un buon popolamento, il taglio a strisce può rendere circa 900-1000 q/ha (50 t s.s., con un contenuto idrico del 45%), divise tra cippato e tondame. La convenienza a spostare la produzione verso l'uno o l'altro assortimento dipende dal prezzo di mercato dei due prodotti: nelle condizioni di lavoro osservate, un prezzo alla consegna di 50 €/t copre il costo di produzione del cippato, e un prezzo all'imposto poco inferiore ai 40 €/mc copre il costo di produzione del tondame. Ulteriori variazioni dei prezzi spostano l'equilibrio in favore dell'uno o dell'altro assortimento, eventualmente giustificando anche la cippatura del materiale idoneo alla produzione di tondame.

Sotto il profilo operativo, queste condizioni di lavoro sono ideali per l'applicazione del sistema *harvester-forwarder*, che può fornire un bilancio nettamente positivo, con un macchiatico di 500-1000 €/ha. L'harvester entra in bosco aprendo una fascia larga 12-15 m e allestendo le piante in tronchi di 4-6 m. La porzione di cimale destinata alla cippatura può essere lasciata intera, oppure sramata grossolanamente, allo scopo di rilasciare in bosco una certa quantità di sostanza organica, e al contempo rimuovere la porzione meno pregiata sotto il profilo commerciale, così da migliorare la qualità del cippato ottenibile. Le cataste formate dall'harvester sono raccolte con il forwarder e trasportate all'imposto, per essere collocate in mucchi separati per tipo di assortimento.

In alternativa, il lavoro può essere effettuato con la motosega e un trattore agricolo, ma evidentemente cala la produttività del cantiere, e con essa il profitto dell'operazione.

Nei terreni non trattorabili il lavoro può essere effettuato ricorrendo alle teleferiche, ma in generale il costo dell'intervento subisce un forte aumento e può anche superare il valore del prodotto ottenuto. Tuttavia, i tagli a strisce offrono condizioni operative molto favorevoli all'impiego delle teleferiche, e se il cantiere è bene organizzato è possibile ottenere anche un profitto.

La sostituzione del diradamento selettivo con il taglio a strisce aumenta nettamente la sostenibilità economica degli interventi di manutenzione nelle pinete artificiali, perché facilita l'utilizzazione e produce assortimenti di maggior valore rispetto a quelli ottenuti da un diradamento selettivo di tipo tradizionale.

La simulazione in *tab. 3* è effettuata grazie a un modello sviluppato dal CNR, sulla base dei dati reali raccolti nel corso di prove in campo condotte con harvester e forwarder. La *tab. 3* dimostra che per il prezzo offerto oggi dagli utenti industriali (intorno ai 4,5 €/q) non conviene produrre cippato, ma è meglio lasciare i cimali in bosco, anche quando la raccolta può essere effettuata con mezzi moderni e razionali. In queste condizioni, il recupero è conveniente solo se le centrali offrono un prezzo uguale o superiore ai 5 €/q tal quale, franco centrale.

La *tab. 3* riporta la simulazione del taglio a strisce meccanizzato negli impianti con buono svilup-

Tab. 3 - Simulazione del taglio a strisce meccanizzato negli impianti con buono sviluppo

Tondame			*Biomassa*		
ABBATTIMENTO+ALLESTIMENTO					
Trasferimento*	€	307			
ore		29			
	€	2964			
ESBOSCO			ESBOSCO		
Trasferimento	€	307	Trasferimento	€	0
ore		20	ore		17
	€	1713		€	1465
			CIPPATURA		
			Trasferimento	€	146
			ore		7
				€	1072
			TRASPORTO		
			ore		25
				€	1341
Bilancio tondame			*Bilancio cippato*		
Spese	€	5291	Spese	€	4024
Ricavi	€	6990	Ricavi	€	4021
Guadagno	€	1699	Guadagno	€	-3
per ettaro	€/ha	566	per ettaro	€/ha	-1
per mc	€/mc	10	€/q t.q.		0
			Risultato finale	*€/ha*	*565*

* Trasferimento = costo di trasferimento dei cantieri tra i diversi siti di lavoro, la cui incidenza è significativa soprattutto per i cantieri che fanno ricorso ad attrezzature industriali.

Cippatura delle piante intere, cantiere sperimentale di Guardialfiera (CB)

po; in tabella sono illustrati i risultati finanziari dell'intervento meccanizzato, effettuato con harvester e forwarder su un lotto di 3 ettari, da cui sono state prelevate 174 piante a ettaro con un diametro medio a petto d'uomo della pianta media utilizzata di 27 cm. La distanza media di esbosco è stata considerata pari a 250 m. Per il trasporto del cippato si è considerata una distanza di 35 km. Il prezzo del tondame è stato considerato pari a 40 €/mc reso all'imposto, mentre per il cippato si è impiegato un prezzo di 45 €/t tal quale franco centrale.

Considerazioni finali

La cippatura è un processo di lavorazione ancora relativamente nuovo, e le prove condotte nell'ambito del progetto Woodland Energy hanno consentito di illustrarne le potenzialità e i limiti. I cantieri industriali sono molto efficaci, ma comportano un certo ingombro e richiedono la disponibilità di imposti abbastanza spaziosi per consentire l'accatastamento del legname da cippare, lo stazionamento della cippatrice e la manovra degli autocarri adibiti al trasporto del cippato. Esistono cantieri più compatti e in grado di sfruttare imposti relativamente angusti, ma la loro produttività è limitata, circostanza che determina un costo di cippatura pressoché doppio rispetto a quello ottenibile con un cantiere industriale (circa 16 €/t contro 8 €/t).

Quanto detto sottolinea il ruolo fondamentale della logistica, evidente soprattutto in un contesto montano spesso penalizzato dalla carenza di infrastrutture. La ditta utilizzatrice deve valutare la convenienza a effettuare movimentazioni intermedie per spostare il legname presso imposti adeguati, accessibili a cantieri di tipo industriale. La scelta dipende dall'efficienza con cui può essere effettuata l'eventuale movimentazione intermedia e dalla distanza di trasporto su strada, che a sua volta determina l'effettiva convenienza a utilizzare mezzi più capienti e veloci. In linea generale, la movimentazione intermedia aggiunge circa 10 €/t al costo di utilizzazione ed è conveniente solo quando rappresenta l'unica possibilità di avvicinare il materiale a un imposto autocarrabile. Ricorrere a essa solo per passare da un imposto buono a uno migliore non è mai conveniente.

Teoricamente, l'interposizione di un periodo di stagionatura tra il taglio e la cippatura consente di migliorare la qualità della biomassa, e potrebbe motivarne una maggiore remunerazione. Tuttavia, le prove dimostrano che non è facile far asciugare il legname di pino, che può mantenere un tenore idrico elevato anche dopo mesi di stoccaggio: sicuramente occorrerà approfondire ulteriormente questo argomento, per sviluppare procedure operative più efficaci.

Forti miglioramenti produttivi sono possibili solo attraverso il passaggio a un livello di meccanizzazione elevato, che oggi interessa soprattutto le ditte private. In effetti, molte pinete si prestano bene all'introduzione della classica coppia harvester-forwarder, ormai ubiquitaria nei Paesi d'oltralpe. L'accesso direttamente in bosco di macchine relativamente pesanti suscita ovvie preoccupazioni circa i possibili impatti ambientali, e in particolar modo su un eventuale danneggiamento del suolo forestale: tuttavia, i terreni su cui cresce il pino pre-

sentano generalmente un elevato contenuto di scheletro, che costituisce una protezione efficacissima contro il compattamento e la conseguente erosione.

Nei popolamenti meno sviluppati e dove non sia possibile effettuare gli investimenti necessari all'acquisizione di harvester e forwarder, è ancora possibile meccanizzare il diradamento con un cantiere leggero basato su un minicaricatore cingolato e un trattore agricolo. Questo cantiere è talmente compatto da consentire anche il diradamento selettivo puro, e abbastanza economico da risultare adatto alla piccola ditta boschiva, che non intende attrezzarsi con costose macchine specializzate. Il cantiere è caratterizzato da una notevole mobilità, con spostamenti rapidi e frequenti – al limite anche giornalieri, quando si voglia mantenere una stretta sorveglianza sulle attrezzature impiegate. In ogni caso, questa grande mobilità facilita il confronto con una proprietà fondiaria frammentata, che spesso costituisce un ostacolo importante alla meccanizzazione degli interventi. Occorre sottolineare però che il cantiere sopra descritto prevede la circolazione diffusa negli interfila, ed è adatto solo a terreni relativamente pianeggianti (pendenza massima 20%). Su terreni con pendenze maggiori bisognerà ricorrere a sistemi diversi, che eventualmente prevedano l'apertura di corridoi attraverso l'asportazione di file intere (diradamento sistematico e sistematico-selettivo). In ogni caso, la manutenzione dei rimboschimenti richiede una meccanizzazione adeguata, che non solo consenta di abbattere i costi, ma offra un'occupazione stabile, qualificata e sicura – eliminando gran parte della pericolosità e della fatica che caratterizzano i metodi di lavoro tradizionali.

Ove appropriato, la sostituzione del diradamento selettivo con il taglio a strisce aumenta nettamente la sostenibilità economica degli interventi di manutenzione nelle pinete artificiali, perché facilita l'utilizzazione e produce assortimenti di maggior valore rispetto a quelli ottenuti da un diradamento selettivo di tipo tradizionale. Il taglio a strisce infatti consente di applicare diverse strategie produttive, volte a raccogliere esclusivamente tondame, soltanto cippato o una miscela dei due. La convenienza di ciascuna dipende dal prezzo ottenibile per i due assortimenti.

Le prove sottolineano anche la scarsa convenienza a recuperare cippato ove il prezzo offerto dalla centrale non raggiunga almeno i 5 €/q tal quale: prezzi più bassi non consentono di raggiungere la sostenibilità economica delle operazioni, anche dove il terreno è agevole e i cantieri sono organizzati razionalmente.

4.3 Protocollo Tecnico di Utilizzazione delle potature di vigneti e oliveti

Natascia Magagnotti, Carla Nati, Raffaele Spinelli
CNR IVALSA Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree
Marco Vieri - Università di Firenze, DIAF Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale

Introduzione

Il recupero a fini energetici sta emergendo come una delle possibilità più interessanti per valorizzare i residui di potatura dei vigneti e degli oliveti, e risolvere così il problema del loro smaltimento, che può anche essere molto oneroso quando considerazioni fitosanitarie consiglino la rimozione della biomassa, invece della trinciatura in campo.

Attualmente i residui agricoli di potatura vengono concentrati fuori dagli appezzamenti nelle aree più aperte delle capezzagne (strade perimetrali degli appezzamenti colturali) e bruciati. Per l'asportazione delle potature si impiega normalmente il rastrello a 40 denti portato da trattore (cingolato o gommato); nell'oliveto è possibile impiegare anche il cingolato con lama apripista fenestrata o un trattore con forche anteriori. La bruciatura richiede un lavoro manuale con produttività media di 0,5 t/h. I costi dello smaltimento sono riassunti nella *tab. 1*, da cui risulta che la gestione di questo materiale ha comunque sempre un costo intorno a 100-150 €/ha nel caso del vigneto, a cui non corrisponde alcun ricavo, perché il materiale viene semplicemente distrutto. Negli oliveti i costi sono ancora maggiori, a causa della maggior quantità di residuo da smaltire.

D'altra parte, il potenziale produttivo è notevole: dalla potatura annuale dei vigneti infatti è possibile recuperare almeno 20 q di biomassa fresca a ettaro (corrispondenti a oltre 1 t s.s., con un contenuto idrico intorno al 40%), mentre il quantitativo recuperabile dagli oliveti è ancora più alto, e varia da 35 a quasi 200 q di biomassa fresca a ettaro (cioè 2-10 t s.s., con un contenuto idrico sempre del 40%), in funzione del grado di sviluppo delle piante, della periodicità degli interventi e della tecnica di potatura. La qualità della biomassa recuperabile è abbastanza differente tra vigneti e oliveti: dai primi si ottiene biomassa con un contenuto di umidità variabile tra il 30 e oltre il 40%, e un elevato contenuto di

Scarti di potatura in oliveto radunati in andana, cantiere sperimentale di San Giovanni Profiamma (PG)

cenere; dagli oliveti invece si ottiene un combustibile con contenuto di umidità variabile intorno al 30% e una maggiore proporzione di fibra.

La possibilità di recuperare questo materiale a condizioni economiche favorevoli e la scelta della tecnologia più adatta per effettuare il recupero dipendono da alcuni fattori, tra cui soprattutto la giacitura del terreno, la spaziatura tra le piante, la taglia degli appezzamenti e il tipo di potatura da raccogliere (quantità e dimensioni).

Un aspetto importante è rappresentato dalla stagionalità del lavoro, perché il periodo favorevole per la raccolta delle potature va da dicembre a marzo (con prolungamenti ad aprile per l'olivo), e una stagione molto piovosa può determinare la raccolta di materiale anche molto umido. D'altra parte, in questo periodo la richiesta di calore raggiunge i valori massimi, e si potrebbe pensare all'invio della biomassa direttamente in caldaia, evitandone lo stoccaggio e la manipolazione intermedia. Un'opzione del genere può essere messa in pratica solo nell'eventualità di disporre di caldaie in grado di accettare combustibile relativamente umido, o di miscelare la biomassa fresca con materiale più asciutto, di altra provenienza.

Il recupero dei residui di potatura può essere condotto secondo varie modalità e con diverse attrezzature. Le tecnologie esistono, perché i costruttori di macchine agricole hanno valutato le opportunità offerte dal nuovo mercato delle bioenergie e stanno dedicando sempre maggiore attenzione a questo settore: buona parte delle macchine sviluppate fino a oggi deriva dalla modifica di attrezzature agricole destinate ad altre lavorazioni, ed è progettata per raccogliere da terra le potature già disposte in andana, condizionandole poi in modo opportuno.

Tra il 2000 e il 2007, il CNR e l'Università di Firenze hanno condotto numerose prove di raccolta nei vigneti e oliveti di Marche, Toscana e Umbria per conto delle rispettive Regioni. Altre prove sono state condotte in Veneto per conto del Comune di Valdobbiadene, in Trentino (in collaborazione con l'Istituto agrario di San Michele all'Adige), in Abruzzo e in Puglia per conto di imprenditori privati. Da queste numerose prove provengono le conoscenze riassunte nel presente PTU.

I CANTIERI

Il cantiere più adatto a ciascun caso dipende da vari fattori, e in particolare da:

- *condizioni del terreno*, e in particolar modo dalla sua *giacitura*: solo le macchine più compatte possono operare nei terrazzamenti, inaccessibili agli altri modelli. Su terreni piani o moderatamente pendenti invece è possibile entrare con tutti i tipi di attrezzatura;
- *sesto d'impianto* e *forma di allevamento*: soprattutto nei vigneti, lo spazio tra le file e la forma di allevamento possono costituire altrettanti fattori limitanti. L'ingombro delle attrezzature più comuni rende difficile l'accesso negli impianti dove l'interfila è inferiore ai 3 m, e in quelli allevati a tendone o a pergola. L'ideale sono gli impianti a spalliera con distanza tra le file di almeno 3 m. Negli oliveti si adottano sesti più ampi, e lo spazio generalmente non è un problema, anche se gli impianti con chiome basse e aperte possono porre qualche problema alla circolazione dei trattori cabinati;
- *ampiezza delle capezzagne*: la manovra delle macchine giunte a fine fila richiede la disponibilità di capezzagne sufficientemente ampie, adeguate al cantiere utilizzato. Sono anche necessari spazi per il trasferimento del prodotto nei mezzi adibiti al trasporto, o per lo scarico in terra;
- *caratteristiche delle potature*: le dimensioni massime delle potature condizionano il tipo di tecnologia impiegata, perché non tutte le macchine hanno la stessa capacità diametrica. Le piccole trinciacaricatrici possono trattare un diametro massimo di circa 5 cm, mentre le macchine industriali accettano facilmente anche rami di diametro maggiore. La quantità di potature per unità di superficie è un altro fattore importante, che

Tab. 1 - Costo dello smaltimento dei residui di potatura della vite*

Operazione	*Produttività*		*Costo macchina con*	*Costo*	
	h/ha	*t/h*	*operatore - €/h*	*€/ha*	*€/t*
Tempo necessario per il concentramento in capezzagna con trattore e forca	~ 2,5	~ 0,7	40	~ 100	~ 55
In alternativa: raccolta manuale	~ 10	~ 0,2	12	~ 120	~ 60
Bruciatura	~ 2	~ 1,0	12	~ 24	~ 12

* I dati sono riferiti a un vigneto di 15 filari lunghi 100 m. Il concentramento in capezzagna è effettuato con un trattore munito di forca frontale, che impiega circa 10 minuti di lavoro a filare.

Imballatura dei sarmenti di vite in balle parallelepipede di piccole dimensioni, cantiere sperimentale di Montecarotto (AN)

Imballatura dei residui nel vigneto con formazione di balle cilindriche di piccole dimensioni, cantiere sperimentale di Montecarotto (AN)

condiziona la possibilità di impiego delle macchine e la produttività conseguibile. Logicamente, le macchine retroportate non possono trattare andane più alte della luce libera da terra del trattore, perché in tal caso il trattore non riesce a scavalcare l'andana, ma la spinge avanti con il muso. Al contrario, andane troppo magre impediscono il raggiungimento di buoni livelli produttivi. Anche la disposizione delle potature ha un ruolo importante nel successo della raccolta: per facilitare il lavoro delle macchine e ridurre le perdite, le potature devono essere concentrate ordinatamente al centro dell'interfila.

In linea generale possiamo descrivere quattro diverse *tecniche di recupero*:

- Imballatura in campo
- Trinciatura in campo
- Triturazione o cippatura in capezzagna
- Lavorazione integrata a cantieri riuniti.

Imballatura in campo

L'imballatura è una tecnica di lavorazione adatta al residuo legnoso sottile altrimenti difficile da manipolare. Essa consente di organizzarlo in unità omogenee, facilitandone la movimentazione e lo stoccaggio. Il mercato offre da anni modelli efficienti e collaudati, sviluppati a partire da normali presse da foraggio. Le imballatrici esistenti si possono distinguere in tre gruppi:

- piccole imballatrici parallelepipede
- rotoimballatrici leggere
- rotoimballatrici industriali.

Le *piccole imballatrici parallelepipede* sono delle pressa-foraggi modificate, che confezionano balle parallelepipede tramite un normale dispositivo a stantuffo con moto rettilineo alternativo. Sono macchine leggere, applicate a un trattore agricolo da 40-60 kW e capaci di lavorare su un fronte di 1 metro e 1 metro e mezzo. Le balle hanno dimensioni variabili, ma tutte vicine ai valori standard di 45 x 35 x 70 cm. Il peso varia tra i 20 e i 40 kg in funzione del tipo di materiale raccolto e della sua umidità. La produttività di queste macchine dipende dal modello, dal tipo di coltura trattata e dalle condizioni di lavoro. Si va da 600 a 1000 balle al giorno con una squadra composta da due operatori – uno che conduce il trattore e l'altro che agevola la raccolta con un forcone. La produttività oraria si aggira sui 10 q/ora lorda (circa 0,6 t s.s., con un contenuto idrico del 40%), a fronte di un costo orario di circa 50 €. Il prezzo di un'attrezzatura di questo tipo varia da 8.000 a 15.000 € a seconda del modello.

Le *rotoimballatrici leggere* utilizzano lo stesso principio di funzionamento dei modelli standard, ma cercano di rimediare ai problemi di ingombro attraverso una generale miniaturizzazione: il peso della macchina infatti è ridotto a un quinto e l'azionamento avviene tramite un piccolo trattore da frutteto capace di erogare 25-30 kW. A seconda del tipo di materiale, le balle appena confezionate pesano da 30 a 40 kg. La macchina è servita da un solo operatore e raggiunge una produttività oraria di 1,6 t s.s./ora, a fronte di un costo orario stimato a 38 €/ora. Il prezzo di queste macchine si aggira intorno ai 10.000-12.000 €.

Anche le *rotoimballatrici industriali* impiegate per raccogliere i residui di potatura derivano da attrezzature agricole modificate. La differenza è che si tratta di grosse attrezzature da impiegarsi esclusi-

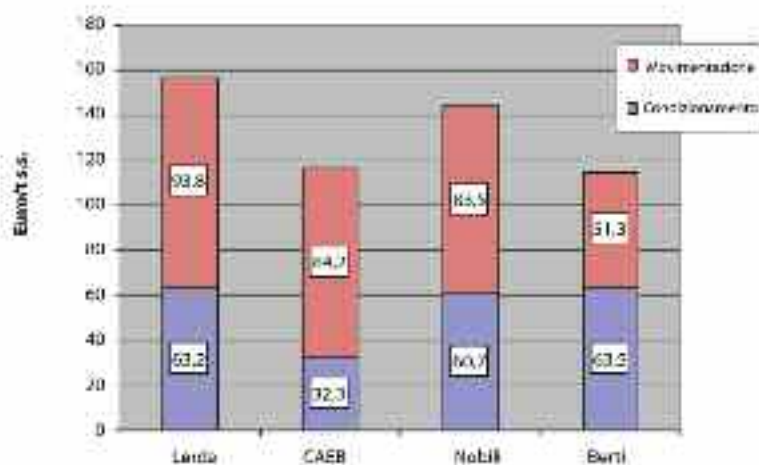



Fig. 1 - Costo del condizionamento e della movimentazione per quattro cantieri semi-industriali, due destinati all'imballatura (Lerda e CAEB) e due alla trinciatura (Berti e Nobili). L'istogramma indica il costo unitario di lavorazione in Euro per tonnellata di sostanza secca, consegnata in capezzagna, a bordo campo.

vamente in impianti moderni e razionali, anche perché le notevoli dimensioni del cantiere richiedono spazi di manovra adeguati. Il diametro delle balle è compreso tra 1 metro e 1 metro e mezzo, per un volume totale di 1-2 mc a seconda dei modelli. Il peso unitario delle balle varia da 200 a 700 kg, in base al tipo di imballatrice, alla regolazione della camera di compressione, al tipo di materiale raccolto. Tutte le funzioni dell'imballatrice sono controllate da un computer impostato direttamente dal trattorista, che effettua da solo tutto il lavoro. Queste macchine possono essere azionate da un trattore da 60 kW, e raggiungono una produttività compresa tra 35 e 70 q per ora lorda (2 e 4 t s.s. con un contenuto idrico del 40%). Il loro prezzo si aggira intorno ai 35.000 €, e il costo di esercizio è pari circa a 60 €/ora (vedi *fig. 1*).

In linea generale le imballatrici sono molto efficienti, e il loro principale punto debole sta nella movimentazione delle balle, piuttosto che nell'imballatura in sé. Allo stato attuale mancano ancora le tecnologie per razionalizzare la raccolta delle balle, che generalmente è effettuata a mano o con trattori muniti di forca. Le balle successivamente devono essere cippate, adottando in fase di cippatura tutti gli accorgimenti necessari a produrre un materiale il più possibile omogeneo.

Trinciatura in campo

La tecnica è estremamente interessante, perché consente di "fluidificare" la biomassa, semplificandone la movimentazione. Il trinciato può essere poi impiegato direttamente in caldaie ad alta efficienza energetica. La distinzione principale tra i diversi modelli disponibili sta nella derivazione della macchina e nel carattere industriale o semi-industriale del relativo cantiere. In particolare, sono disponibili:

- le *trinciasarmenti semi-industriali:* a mazze con contenitore ribaltabile
- le *trinciacaricatrici industriali:* in Italia si sono affermate solo recentemente e in genere derivano dalla modifica di trinciasarmenti commerciali, a cui è stato applicato un dispositivo per la raccolta del trinciato.

Le *trinciasarmenti semi-industriali* sono normali trinciasarmenti a mazze a cui è stato applicato un contenitore ribaltabile nel quale si accumula il materiale trinciato. Infatti, oltre a trinciare i sarmenti, il rotore a mazze produce un flusso d'aria in grado di spingere il trinciato verso il contenitore ribaltabile, di capacità compresa tra i 2 e i 7 mc. Taluni costruttori hanno sostituito il cassone con sacchi in tela (tipo *big-bag*), mentre altri hanno riprogettato la macchina dotandola di una ventola e di un tubo di lancio, per avviare il trinciato al cassone di un rimorchio affiancato. Quest'ultima opzione costituisce un cantiere più ingombrante, ed è adatta agli impianti industriali in terreno pianeggiante. In ogni caso, la potenza richiesta varia dai 40 ai 70 kW in funzione del modello, e il diametro massimo del materiale trattato si aggira intorno ai 5 cm. Alcuni costruttori hanno applicato alla macchina un *pick-up* frontale che solleva i sarmenti prima di inviarli alle mazze: originariamente questa configurazione era stata sviluppata per la trinciatura su terreni sassosi, allo scopo di mantenere le mazze rialzate da terra ed evitare il contatto con le pietre, che possono danneggiare le mazze o compromettere l'equilibratura del rotore. Con il recupero di biomassa, la lavorazione sopraelevata evita la contaminazione del legname da parte di erba e terra, con risultati favo-

revoli sulla qualità del cippato. Si tratta sempre di cantieri semi-industriali condotti da un solo operatore e capaci di conseguire una produttività compresa tra i 10 e i 15 q di trinciato fresco per ora lorda di lavoro (0,6-0,9 t s.s./ora con un contenuto idrico del 40%), a fronte di un costo orario stimato intorno a 45 €/ora. Il prezzo dell'attrezzatura è variabile e oscilla tra i 10.000 e i 20.000 €.

Le *trinciacaricatrici industriali* sono macchine costruite apposta per trattare i residui di potatura, in genere a partire da una cippatrice a disco o a tamburo. Queste macchine possono essere semoventi, o applicate a un trattore agricolo, ma richiedono sempre potenze elevate, intorno ai 150 kW. Una caratteristica fondamentale di queste macchine è l'applicazione frontale, che le rende capaci di trattare anche le andane più alte, dove è impossibile impiegare attrezzature retroportate. Inoltre, l'uso di una cippatrice al posto del trituratore a mazze consente di ottenere un prodotto più omogeneo e regolare, che può essere movimentato con maggiore facilità. La grande potenza disponibile e le generose dimensioni del pick-up permettono di trattare anche i rami più grossi (diametro 10-15 cm), e consentono il raggiungimento di produttività molto elevate, comprese tra i 50 e i 90 q di trinciato fresco per ora lorda di lavoro (3-5 t s.s./ora a un contenuto idrico del 40%), quindi almeno 5 volte maggiori rispetto a quelle ottenibili con cantieri semi-industriali. Il costo di acquisto della sola macchina operatrice si aggira sugli 80.000 €, mentre quello di esercizio oscilla intorno ai 150 €/ora, incluso il trattore e il conducente. Le trinciacaricatrici industriali sono macchine molto efficienti, adatte soprattutto agli impianti intensivi di pianura, che offrono gli spazi di manovra e l'estensione necessari per un loro impiego razionale.

La *tab. 2* riporta la produttività e i costi di recupero delle potature di olivo in un impianto specializzato intensivo, impiegando una trinciacaricatrice industriale (Jordan RH 25, dati CNR IVALSA). Il calcolo è effettuato per un campo di 5 ettari, con tre diverse intensità di potatura. I dati sono riportati in q di biomassa fresca, con un contenuto idrico del 42%. La *tab. 2* riepiloga il quantitativo totale raccolto, le ore lavorate e i costi sostenuti per effettuare il lavoro e per il trasferimento dei cantieri. La tabella mostra anche il costo evitato relativo alla triturazione in campo dei residui di potatura (75 €/ha x 5 ha = 375 €). Infine, la tabella mostra la distanza massima che può essere coperta dai trattori di appoggio prima che la trinciacaricatrice incorra in tempi morti di attesa dovuti al ritardo dei trattori. La maggior quantità di biomassa recuperata con il Cantiere 2 a parità di tipo e intensità della potatura dipende dalla minore entità delle perdite, visto che il cippato è soffiato direttamente sul container applicato al trattore, e quindi lo spargimento in terra è minimo.

Trinciatura dei residui legnosi e stoccaggio momentaneo del materiale in appositi sacchi (*big-bag*), cantiere sperimentale di San Giovanni Profiamma (PG)

Scarico del trinciato dal buffer della trinciacaricatrice nel cassone di un rimorchio, cantiere sperimentale di Montecarotto (AN)

Tab. 2 - Produttività e costo del recupero delle potature di olivo in un impianto specializzato intensivo, con una trinciacaricatrice industriale (Jordan RH 25)

		Cantiere 1 - Due trattori appoggio			*Cantiere 2 - Container e un trattore*		
Cadenza della Potatura		Biennale	Pluriennale	Pluriennale	Biennale	Pluriennale	Pluriennale
Intensità dell'intervento		Ordinario	Medio	Pesante	Ordinario	Medio	Pesante
Biomassa	q	280	464	740	350	580	925
Lavoro	ore	4,9	7,9	11,2	5,4	8,9	12,8
Costo del lavoro	€	1065	1733	2460	1029	1678	2414
Costo del trasferimento	€	200	200	200	172	172	172
Costo evitato	€	375	375	375	375	375	375
• Costo cippato	**€/q**	**3,18**	**3,36**	**3,09**	**2,36**	**2,54**	**2,39**
Distanza massima	km	3,90	3,80	3,30	2,50	2,50	2,10
Produttività	q/ora lorda	58	59	66	64	65	73

Triturazione o cippatura in capezzagna

La triturazione o cippatura in capezzagna è una modifica del vecchio sistema impiegato negli anni passati per disfarsi dei residui di potatura, che consisteva nel concentramento del materiale a bordo campo e nella successiva abbruciatura. Nel caso specifico, si sostituisce l'abbruciatura con la triturazione, ottenendo al contempo lo smaltimento del residuo e la sua valorizzazione commerciale. Normalmente il concentramento in capezzagna è effettuato dallo stesso proprietario del fondo, impiegando attrezzature già disponibili in azienda: nel caso specifico il trattore è equipaggiato con una forca frontale, per spingere i rami fino alla capezzagna. Il vantaggio di questo sistema consiste in una notevole flessibilità, perché il proprietario può svolgere l'operazione nel momento più opportuno, quando è libero da altri lavori. Oltretutto, in questo modo il proprietario ha il pieno controllo di tutte le operazioni fatte nel suo impianto, e non deve preoccuparsi che altri possano danneggiare le piante a causa di manovre frettolose o approssimative. La produttività ottenibile in questa fase è di 9-12 q di biomassa fresca a ora (0,5-0,7 t s.s., con un contenuto idrico di riferimento del 40%), in funzione della lunghezza dei filari e della quantità di potature presenti sul terreno. Se il lavoro non è effettuato con risorse marginali (ad esempio, "a tempo morto"), il costo orario oscilla intorno ai 35-40 €. La cosa più importante è che il trattorista faccia attenzione a non sporcare i residui di potatura, calpestandoli con le ruote del trattore o tirando su terra con i denti della forca.

La trinciatura può essere effettuata con un trituratore a martelli, data la possibile contaminazione con terra o sassi, che in una certa misura è inevitabile nonostante tutte le attenzioni del trattorista. I modelli con imboccatura a vasca sono probabilmente i più adatti a questo lavoro, perché in grado di gestire abbastanza facilmente anche il materiale disposto in modo disordinato. In ogni caso, la macchina deve essere alimentata con una gru idraulica, incorporata al trituratore o montata su un altro mezzo di appoggio. Vista l'ampiezza limitata delle capezzagne è preferibile impiegare trituratori relativamente compatti, magari azionati da un trattore con potenza di circa 100-120 kW. Una macchina così leggera può raggiungere una produttività di 35-50 q di trinciato per ora di lavoro (2-3 t s.s. per un contenuto idrico di riferimento del 40%), a fronte di un costo orario intorno agli 80 €. Macchine di questo tipo sono reperibili sul mercato a un costo di circa 80.000 € incluso il motore autonomo e la gru. In ogni caso, il trituratore leggero è una macchina molto versatile, che può essere impiegata non solo per lavorare i residui di potatura, ma anche per triturare un'ampia varietà di scarti verdi o legnosi disponibili in azienda, o presso le aziende vicine.

Lavorazione integrata a cantieri riuniti

Per abbattere i costi del recupero, è possibile effettuare più lavorazioni in un solo passaggio, lavorando a cantieri riuniti. Idealmente, una stessa macchina potrebbe effettuare contemporaneamente le quattro operazioni necessarie al recupero, e cioè: potatura, andanatura, condizionamento e movimentazione.

A livello commerciale esistono già delle rotoimballatrici retroportate, dotate di una coppia di spazzole per l'andanatura e di un rimorchietto per l'ac-

Cantiere dimostrativo presso l'Azienda sperimentale Santa Paolina, Follonica (GR): recupero dei residui di potatura negli oliveti

Caratteristiche stazionali

Comune	Follonica (GR)		
Località	Santa Paolina		
Superficie parcelle	Parcella 1: 0,59 ha	Parcella 2: 1,74 ha	Parcella 3: 1,58 ha
Pendenza	Pianeggiante e spietrato		
Oliveto	Oliveto con oltre 150 varietà con predominanza Frantoio e Leccino, sesto d'impianto 7 x 5,5 m. Sono state ricavate circa 53 t di biomassa fresca		
Età del soprassuolo	14 anni		
Densità	260 piante/ha circa		

Tipo di intervento e risultati ottenuti

Tipo di intevento	Parcella 1: Recupero e cippatura di potatura biennale		
	Parcella 2: Recupero e cippatura di potatura pluriennale media di piante aventi accrescimento medio		
	Parcella 3: Recupero e cippatura di potatura pluriennale forte di piante aventi accrescimento elevato		
Raccolta dei residui di potatura	Le andane, costituite dai residui di potatura, sono disposte negli interfila e presentano dimensioni variabili a seconda del tipo di potatura effettuato, larghezza compresa tra 150-180 cm, altezza variabile da 50 cm a 1 m		
	La raccolta delle ramaglie avviene con l'utilizzo della Jordan RH 25: cippatrice forestale con un dispositivo per la raccolta automatica del materiale da cippare. Il materiale legnoso viene raccolto tramite una serie di *pick-up* modulari variabili a seconda delle dimensioni del materiale da raccogliere, situati in prossimità della robusta cippatrice a disco		
	Macchine utilizzate: Jordan RH 25, applicata a trattore agricolo a guida reversibile Fendt Farmer 824 da 174 kW di potenza, con: — *pick-up* a pettini metallici per ramaglie sottili (∅ < 3-4 cm) sulla potatura biennale nella Parcella 1 — *pick-up* a rulli per ramaglie pesanti (∅ > 4 cm) su potature pluriennali nelle Parcelle 2 e 3. Affiancato al trattore agricolo a guida reversibile nell'interfila adiacente procedeva un trattore agricolo con rimorchio a due assi con capacità di 9 mc		
Trasporto	Distanza massima di consegna del cippato raggiunta da trattori navetta senza che la cippatrice subisca tempi morti		
	Parcella 1: 3,9 km	Parcella 2: 3,8 km	Parcella 3: 3,3 km
Prelievo complessivo	Parcella 1: 70 q/ha (4 t s.s. con un contenuto idrico del 42%)		
	Parcella 2: 116 q/ha (7,3 t s.s. con un contenuto idrico del 37%)		
	Parcella 3: 185 q/ha (11,6 t s.s. con un contenuto idrico del 37%)		
Tenore idrico	Parcella 1: 42,5%	Parcella 2: 37,5%	Parcella 3: 37,5%
	Il tenore idrico abbastanza elevato riscontrato nelle tre parcelle è dovuto al breve tempo intercorso tra la potatura e la raccolta		
Stima del costo di produzione del materiale legnoso	Utilizzando due rimorchi trainati da trattori che si alternano sotto la cippatrice Parcella 1: 3,18 €/q	Parcella 2: 3,36 €/q	Parcella 3: 3,09 €/q

Operazione	*Squadra*	*Produttività lorda*	*Costo di conferimento al centro aziendale*	
	(n. addetti)	*(q/h)*	*(€/q)*	*(€/t s.s.)*
Raccolta e cippatura				
Parcella 1	2	58	3,18	55,3
Parcella 2	2	59	3,36	53,7
Parcella 3	2	66	3,09	49,4

cumulo e la movimentazione delle balle. Eventualmente è possibile montare anteriormente al trattore dei dischi potatori per effettuare anche la potatura meccanica, negli impianti dove ciò è consigliabile. Potatori e ranghinatori possono essere montati anteriormente su molti trattori, equipaggiati con varie attrezzature per il condizionamento delle potature, e quindi si potrebbe predisporre per la lavorazione integrata tanto un'imballatrice che una trinciacaricatrice.

Recentemente una ditta veneta ha sviluppato una pota-raccoglitrice semovente che effettua potatura, trinciatura e trasporto in un solo passaggio. La macchina è ancora allo stadio di prototipo avanzato ed è costituita da una piattaforma gommata, con motore da 150 kW e trasmissione idrostatica. Sulla piattaforma sono montati la cabina e gli organi di lavoro: potatrice, trituratore, convogliatori e cassone. La potatura è affidata a una barra multidischi applicata a un braccio idraulico posto sul lato destro della macchina. I rami tagliati cadono in una vasca montata davanti alla macchina e sotto la barra, dove un convogliatore invia le potature alla camera di triturazione. All'uscita della camera di triturazione c'è una griglia di calibrazione, per migliorare la qualità del prodotto, che poi è convogliato verso un contenitore montato posteriormente. Il contenitore ha una capacità di circa 10 mc e può essere scaricato direttamente nel cassone di un rimorchio.

Questi cantieri sono i più nuovi, e attualmente mancano ancora dati affidabili su produttività e costi. Sicuramente, la lavorazione a cantieri riuniti offre il vantaggio di limitare al minimo il contatto dei rami con il terreno, e il risultato è la produzione di materiale particolarmente pulito. D'altra parte il condizionamento contestuale al taglio implica la lavorazione di materiale fresco senza alcuna stagionatura preventiva, con conseguenti rischi di fermentazione del materiale.

Considerazioni finali

Il recupero energetico dei residui di potatura può offrire un'interessante opportunità di reddito agli agricoltori, aiutandoli anche a risolvere il problema del loro smaltimento. Per ottenere il massimo vantaggio occorre organizzare la raccolta nel modo più efficiente possibile. Il recupero delle potature può seguire quattro strategie molto differenti: l'imballatura e la successiva movimentazione delle balle verso l'utenza, la sminuzzatura in campo e la consegna di materiale già pronto per l'utilizzo, il concentramento in capezzagna e la sminuzzatura effettuata con un trituratore dopo un eventuale periodo di stagionatura e, infine, la lavorazione integrata a cantieri riuniti, per effettuare potatura, andanatura, condizionamento e movimentazione in un unico passaggio.

Le stesse tecniche possono essere applicate a livello industriale o semi-industriale, affrontando investimenti nettamente diversi, ma ottenendo risultati proporzionalmente differenti. I cantieri industriali sono sicuramente i più adatti agli oliveti specializzati a gestione intensiva, la cui potatura genera una gran quantità di residuo, anche molto superiore a quella normalmente ottenuta dagli impianti di tipo tradizionale. Una tale quantità di biomassa è concentrata in andane particolarmente voluminose, difficilmente attaccabili dalle macchine retroportate di origine agricola, che già possono incontrare qualche difficoltà negli impianti tradizionali più ricchi di residui. Il recupero di questo materiale può essere effettuato con macchine di derivazione forestale, montate in posizione frontale e capaci di digerire materiale grossolano, disposto in andane alte fino a un metro. In condizioni adatte, queste macchine raggiungono una produttività talmente superiore a quella dei cantieri semi-industriali, da compensare ampiamente il maggior costo di esercizio. Il loro limite principale consiste nelle dimensioni elevate, che ne permettono l'impiego solo nelle piantagioni industriali in terreno pianeggiante. Questi cantieri infatti non sono abbastanza maneggevoli da poter circolare nei vigneti e negli oliveti di media e alta collina, che spesso sono terrazzati e presentano un allineamento molto approssimativo. In tal caso, è meglio impiegare attrezzature più leggere, sacrificando la produttività alla maneggevolezza.

In ogni caso, tutti i cantieri descritti offrono ampi margini di miglioramento, e la loro progressiva razionalizzazione potrà consentire risultati ancora più incoraggianti nel prossimo futuro. In particolare, occorre razionalizzare la movimentazione di balle, sacchi e *bins* (cassoni in plastica impiegati normalmente per raccogliere la frutta, ma utilizzabili anche per il cippato), magari ricorrendo all'automazione, come già si fa in altri settori. Dove invece si maneggia trinciato sciolto, bisognerà pianificare bene l'organizzazione del cantiere, per bilanciare le diverse unità che lo compongono: qui forse sarà anche opportuno creare un sistema di comunicazione che colleghi le varie unità e consenta di limitare le interferenze, che sono la principale fonte di tempi morti.

È in ogni caso necessario valutare la compatibilità dei cantieri con le diverse tipologie aziendali. Dall'analisi delle capacità di lavoro e delle ore

Cantiere dimostrativo di San Giovanni Profiamma (PG): recupero dei residui di potatura negli oliveti

CARATTERISTICHE STAZIONALI

Comune	Foligno (PG)		
Località	San Giovanni Profiamma, Azienda agricola Cipolloni		
Superficie	Parcella 1: 0,24 ha	Parcella 2: 0,21 ha	Parcella 3: 0,58 ha
	Parcella 4: 1,09 ha	Parcella 5: 0,30 ha	
Pendenza media	10%		
Oliveto	Oliveto delle varietà Moraiolo (circa 80%), Frantoio e sporadico Leccino allevati in vaso con sesto d'impianto variabile 4 x 6 m e 6 x 6 m. Sono stati ricavati circa 125 q di biomassa fresca		
Densità	Variabile a seconda del sesto d'impianto tra 277 e 416 piante/ha		

TIPO DI INTERVENTO E RISULTATI OTTENUTI

Tipo di intevento
- Parcella 1: Raccolta della potatura e imballatura effettuata con Lerda 900 L
- Parcella 2: Raccolta della potatura e imballatura effettuata con Lerda T 110
- Parcella 3: Raccolta della potatura e imballatura effettuata con CAEB MP 400 S
- Parcella 4: Raccolta della potatura e trinciatura effettuata con Nobili TRP 145 RP
- Parcella 5: Raccolta della potatura e trinciatura effettuata con Berti PC 140

Raccolta dei residui di potatura: Le potature sono state effettuate circa 1 mese prima e i residui, eliminata la frazione grossolana recuperata come legna da ardere, sono stati disposti in andane, a file alternate. Il recupero dei residui è stato effettuato con macchine diverse nelle varie parcelle.

- Parcella 1: Rotoimballatrice specializzata nella raccolta di frasche e nella formazione di balle parallelepipede 40 x 30 x 60 cm del peso di circa 20 kg. La balla viene espulsa automaticamente una volta confezionata e chiusa con un paio di giri di filo sintetico.
Macchina utilizzata: Lerda 900 L con trattrice agricola da 70 CV
- Parcella 2: Rotoimballatrice specializzata nella raccolta delle frasche e nella formazione di balle cilindriche di 110x100 cm e con peso di circa 160 kg. La rotoballa viene espulsa automaticamente una volta confezionata.
Macchina utilizzata: Lerda T 110 con trattrice agricola da 70 CV
- Parcella 3: Minirotoimballatrice specializzata nella raccolta delle frasche e nella formazione di piccole ballette cilindriche 40x60 cm e con peso di circa 22 kg. La rotoballa viene espulsa automaticamente una volta confezionata con la rete sintetica di contenimento.
Macchina utilizzata: CAEB MP 400 S con trattrice agricola da 55 CV
- Parcella 4: Trinciacaricatrice con sacchi sganciabili (*big-bag*) produce trinciato accumulato nel sacco appeso al telaio.
Macchina utilizzata: Nobili TRP 145 RP con sacco di capacità 0,8 mc e trattrice agricola da 70 CV
- Parcella 5: Trinciacaricatrice con cassone ribaltabile; il prodotto finale del suo passaggio di raccolta è il trinciato, accumulato nel cassone ribaltabile.
Macchina utilizzata: Berti PC 140 con cassone di capacità 1,7 mc e trattrice agricola da 90 CV

Tenore idrico: 26,4% — Il basso tenore idrico è dovuto alla potatura effettuata circa 1 mese prima della raccolta

Stima del costo di produzione del materiale legnoso:
Parcella 1: 6,8 €/q (92 €/t s.s.) Parcella 2: 7,0 €/q (95 €/t s.s.) Parcella 3: 5,3 €/q (72 €/t s.s.)
(costo di produzione del materiale imballato esclusa la trinciatura)
Parcella 4: 5,3 €/q (72 €/t s.s.) Parcella 5: 3,7 €/q (50 €/t s.s.)
(costo di produzione del materiale imballato compresa la trinciatura)

Cantiere	*Squadra*	*Produttività*		*Costo**	
	(n. addetti)	*(q/h)*	*(ha/h)*	*(€/q)*	*(€/t s.s.)*
Parcella 1	2	7,9	0,16	6,8	92
Parcella 2	1	6,1	0,25	7,0	95
Parcella 3	1	7,5	0,18	5,3	72
Parcella 4*	1	7,7	0,24	5,3	72
Parcella 5*	1	12,8	0,50	3,7	50

* Per le Parcelle 1, 2, 3 il costo di produzione esclude la trinciatura, mentre per le Parcelle 4 e 5 comprende la fase della trinciatura.

Cantiere dimostrativo di Montecarotto (AN): recupero dei sarmenti di vite

Caratteristiche stazionali

Comune	Montecarotto (AN)
Località	Montecarotto
Superficie	Parcella 1: 2,14 ha Parcella 2: 3,29 ha Parcella 3: 1,79 ha Parcella 4: 3,00 ha
Pendenza media	9,5%
Vigneto	Vigneto della varietà Verdicchio allevato a spalliera con interfila di 3 m. Dalla superficie si sono ricavati 211 quintali di biomassa allo stato fresco (ca. 12 t s.s.)
Densità	1.550 – 1.660 piante/ha

Tipo di intervento e risultati ottenuti

Tipo d'intervento	Parcella 1: Raccolta della potatura e imballatura effettuata con Lerda 900 L
	Parcella 2: Raccolta della potatura e imballatura effettuata con CAEB MP 400 S
	Parcella 3: Raccolta della potatura e trinciatura effettuata con Nobili TRP 145 RP
	Parcella 4: Raccolta della potatura e trinciatura effettuata con Berti PC 140
Raccolta dei sarmenti di vite	Il recupero dei residui è stato effettuato con macchine diverse nelle varie parcelle. La macchina passava a cavallo dell'andana al seguito di una trattrice da cui prendeva il moto attraverso un giunto cardanico. A causa della forte umidità nessuna delle macchine montava i convogliatori laterali, destinati a intercettare anche i tralci fuori dall'andana.

• Parcella 1: Pressa imballatrice parallelepipeda che raccoglie i residui di potatura e produce una balletta chiusa con due giri di filo sintetico di misura 40x30x60 cm e con peso di circa 15 kg.
Macchina utilizzata: Lerda 900 L con trattrice agricola da 70 CV

• Parcella 2: Minirotoimballatrice specializzata nella raccolta delle frasche e nella formazione di piccole ballette cilindriche di 40x60 cm e con peso di circa 31 kg. La rotoballa viene espulsa automaticamente una volta confezionata con la rete sintetica di contenimento.
Macchina utilizzata: CAEB MP 400 S con trattrice agricola da 55 CV

• Parcella 3: Trinciacaricatrice con sacchi sganciabili (*big-bag*) produce trinciato accumulato nel sacco appeso al telaio. Il materiale prodotto presenta una pezzatura generalmente inferiore ai 5 cm. Molto ridotta è la presenza di contaminanti (erba e fango) dato che la trinciatrice monta un *pick-up* che solleva i tralci e li invia direttamente alla camera di condizionamento.
Macchina utilizzata: Nobili TRP 145 RP con sacco di capacità 0,8 mc e trattrice agricola da 70 CV

• Parcella 4: Trinciacaricatrice con cassone ribaltabile; il prodotto finale del suo passaggio di raccolta è il trinciato, accumulato nel cassone ribaltabile. Il materiale prodotto presenta una pezzatura generalmente inferiore ai 5 cm. Molto ridotta è la presenza di contaminanti (erba e fango) dato che la trinciatrice monta un *pick-up* che solleva i tralci e li invia direttamente alla camera di condizionamento.
Macchina utilizzata: Berti PC 140 con cassone di capacità 1,7 mc e trattrice agricola da 105 CV

Movimentazione	Movimentazione fino al centro aziendale distante circa 1,5 km
	• Parcelle 1 e 2: le balle sono state caricate a mano su rimorchi leggeri monoasse condotti negli interfila da un trattore
	• Parcella 3: i sacchi di trinciato lasciati negli interfila sono stati portati in capezzagna con un trattore leggero munito di forca elevatrice impiegata anche per caricarli sul rimorchio monoasse che effettuava il trasporto in azienda
	• Parcella 4: il trinciato raccolto nel cassone è stato travasato in rimorchi leggeri per uva, parcheggiati a bordo campo
Tenore idrico	44% Il valore molto elevato è dovuto alla pioggia caduta durante le prove e nei giorni precedenti
Stima del costo di produzione del materiale legnoso*	Parcella 1: 4,5 €/q (80 €/t s.s.) Parcella 2: 2,3 €/q (41 €/t s.s.) (costo di produzione del materiale imballato esclusa la trinciatura)
	Parcella 3: 4,9 €/q (87 €/t s.s.) Parcella 4: 3,6 €/q (64 €/t s.s.) (costo di produzione del materiale imballato compresa la trinciatura)

Cantiere	*Squadra*	*Produttività*		*Costo**	
	(n. addetti)	*(q/h)*	*(ha/h)*	*(€/q)*	*(€/t s.s.)*
Parcella 1	2	11,5	0,6	4,5	80
Parcella 2	1	16,3	0,7	2,3	41
Parcella 3	1	9,6	0,5	4,9	87
Parcella 4	1	13,5	0,8	3,6	64

* Esclusa la movimentazione e il costo dell'eventuale trinciatura nella Parcelle 1 e 2. Per le Parcelle 3 e 4 è compresa la trinciatura.

annue di ammortamento si distinguono infatti almeno tre casi: le aziende di medie e grandi dimensioni che avranno cantieri propri, le aziende di piccole dimensioni per le quali l'acquisto di specifici macchinari non risulta in genere conveniente e le imprese di meccanizzazione o la disponibilità contoterzi; quest'ultima con molta probabilità potrà assumere una rilevanza notevole in situazioni strutturali come, ad esempio, l'olivicoltura dove la dimensione media aziendale è di 1 ettaro. Tutto ciò rientra peraltro nella logica delle attività afferenti ai comprensori agroenergetici.

4.4 Protocollo Tecnico di Utilizzazione dei frangivento

Natascia Magagnotti, Carla Nati, Raffaele Spinelli
Cnr Ivalsa Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree

Introduzione

I filari frangivento rappresentano un tratto distintivo del paesaggio laziale dell'Agro Pontino, realizzati alla fine degli anni trenta del secolo scorso con un duplice intento: da un lato, contrastare la riduzione della Selva di Terracina (LT) conseguente alla bonifica dei terreni paludosi e, dall'altro, offrire riparo dal vento alle colture agricole di nuovo impianto.

Tra le specie arboree impiegate nei filari, un ruolo di primo piano spetta all'eucalipto, presente con numerose specie, il quale da solo copre quasi l'80% dell'estensione totale dei frangivento, con oltre 800 km occupati. Seguono per importanza, il pino radiata e, a grande distanza, i cipressi.

La rete frangivento si snoda sia lungo le strade, principali e secondarie, sia lungo gli argini dei canali o come divisione tra poderi. Le distanze di impianto variano da 1,5 a 10 m sulle file e da 1,5 a 3 m tra fila e fila, a seconda dei casi.

La manutenzione dei frangivento richiederebbe interventi sia di tipo ordinario, come spalcature nelle conifere, spollonature e ceduazione delle latifoglie, sia di tipo straordinario, come l'eliminazione degli esemplari divenuti pericolosi. In realtà negli ultimi due decenni gli interventi di manutenzione ordinaria sono stati sostituiti da quelli a carattere straordinario. Il motivo principale risiede nella convenienza per le ditte locali di aggiudicarsi solo gli appalti per interventi con carattere d'urgenza, per i quali è previsto l'abbattimento di piante quasi sempre di notevoli dimensioni, da cui è possibile ricavare maggiori quantitativi di legno.

Le imprese, per eseguire la manutenzione, sono dotate quasi sempre di un cestello montato su camion e di una motosega per eliminare le branche più grosse degli alberi, oltre che di camioncini su

Filare di eucalipti lungo una strada comunale, cantiere sperimentale di Borgo Piave (LT)

cui caricare il materiale sezionato, destinato alla trasformazione in cippato o in ciocchi di legna. Nel caso dell'eucalipto, per piante di età compresa fra 9 e 12 anni, la provvigione media è pari a 210 mc/ha, con un incremento medio annuo di 20 mc/ha, ripartita per il 57% in legname da lavoro e per il 43% in legna da ardere.

Nell'ambito del progetto Woodland Energy è stato realizzato in provincia di Latina un cantiere forestale su una fascia frangivento, finalizzato all'introduzione di moderni criteri di organizzazione del lavoro e di una meccanizzazione forestale innovativa e trasferibile ad altre realtà regionali.

I CANTIERI

L'utilizzazione dei frangivento presenta in generale sia punti di forza che di debolezza.

Tra i punti di forza si possono elencare:
- la *vicinanza alle strade*: spesso è possibile effettuare il taglio direttamente sulla strada, pertanto l'esbosco non è necessario e il trasferimento dei cantieri è rapido e agevole
- le *buone dimensioni delle piante*, circa 5 q a pianta, in media
- la *possibilità di un prelievo abbastanza intenso*, circa 50 piante su 100 m di filare
- la *possibilità di tagliare in qualsiasi stagione*, limitatamente agli interventi straordinari.

Passando ai punti deboli invece si devono menzionare:
- la *vicinanza alle strade*: occorre confrontarsi con i problemi di ingombro della sede stradale, di intralcio al traffico ed eventualmente anche con il rischio che il materiale stoccato *in loco* possa essere prelevato abusivamente
- la *presenza diffusa di infrastrutture* (cavi telefonici o elettrici, muri di confine, case ecc.) *o di colture* nelle immediate vicinanze del frangivento. L'abbattimento deve essere condotto con estrema cautela, perché reso ancora più rischioso dalle notevoli dimensioni delle piante, la cui caduta, più difficile da controllare, ha un maggior potenziale di danno.

Tutti i cantieri prevedono la fase dell'abbattimento delle piante e del taglio a misura del materiale, nel caso in cui sia previsto un utilizzo come legna da ardere. Per la produzione di cippato, invece, il legname può essere tagliato sommariamente in pezzi di 5-6 metri e trasportato al punto di raccolta, stagionato per qualche settimana o cippato sul posto. In funzione della presenza o meno di infrastrutture o colture, si possono presentare due diversi casi:
- assenza di ostacoli
- presenza di ostacoli.

Assenza di ostacoli

In assenza di ostacoli l'abbattimento delle piante inizia da quella che ha il maggiore spazio libero per la caduta e viene effettuato da un abbattitore, opportunamente formato, e da un aiutante, dotato anch'egli di motosega di media potenza. Per rendere più sicuro l'abbattimento si può fare ricorso a un doppio verricello per direzionare la caduta della pianta, utilizzando due fasce in nylon con rispettiva carrucola per l'ancoraggio, e una catena per legare la pianta. Il ricorso a due funi deriva dalla necessità di garantire l'assoluta certezza della caduta della pianta nella direzione prescelta. L'impiego di una sola fune, invece, lascia un angolo troppo ampio per la direzione di caduta, dal momento che la pianta potrebbe deviare dalla direzione impostata in modo anche considerevole. Il verricello, applicato a un trattore agricolo, può essere a un tamburo o a due, con fune impalmata a Y, preferibilmente radiocomandato e con una forza di trazione di 50 kN.

Una volta effettuato l'abbattimento, a seconda dello stato fitosanitario del materiale tagliato e delle richieste del mercato si può procedere con:
- la *raccolta associata*, in cui la produzione principale è rappresentata dalla legna da ardere, mentre i cimali e la ramaglia di dimensioni inferiori a 3-4 cm di diametro possono essere sminuzzati e venduti come cippato;
- la *cippatura integrale*, in cui tutto il materiale legnoso raccolto viene destinato alla cippatura, per il settore del pannello, o a fini energetici.

Nella *raccolta associata* le piante, una volta a terra, vengono tagliate in pezzi di circa 1 m dagli operai; i pezzi vengono poi caricati direttamente su un mezzo, per il trasporto presso il centro aziendale. Il materiale residuo viene sminuzzato da una cippatrice leggera azionata da un trattore da 80 CV.

Nella *cippatura integrale* le piante, una volta a terra, vengono caricate su un autocarro e trasportate in un centro di stoccaggio o cippate sul posto. In questo secondo caso si può utilizzare una cippatrice media, azionata da un trattore da 130 CV munito di gru idraulica per l'alimentazione meccanica. Le scaglie di legno vengono soffiate nel cassone di un autocarro allineato alla cippatrice. È importante che la macchina possa lavorare in linea, per limitare l'ingombro della sede stradale. Il cippato verrà poi tra-

sportato in centrale e scaricato nel silos o sotto una tettoia, su una piattaforma di cemento. È importante prevedere un periodo di stagionatura che preceda la cippatura, sul letto di caduta oppure presso il centro di stoccaggio, durante il quale il legname rimanga esposto al sole e all'aria. La stagionatura è sicuramente più rapida se le foglie restano attaccate ai rami.

Presenza di ostacoli

In presenza di ostacoli il cantiere deve prevedere l'interruzione o la regimazione del traffico della strada presso la quale si opera, nonché l'abbattimento delle piante in direzione parallela a quella della strada, per limitare al minimo le necessità di concentramento del materiale e per operare con una minore presenza di manufatti o colture. Se i manufatti fossero disposti proprio in direzione dell'abbattimento, quest'ultimo sarà effettuato perpendicolarmente alla strada per evitarli.

I sistemi principali di utilizzazione a cui si può ricorrere sono i seguenti:

- il cestello telescopico
- il *tree-climbing*
- la cesoia su braccio idraulico.

Qualunque sia il metodo prescelto, il taglio inizierà dai rami più grossi, riducendo la chioma ed eliminando le sue proiezioni verso infrastrutture o colture. L'abbattimento del tronco potrà essere condotto come nel cantiere indicato in precedenza. Se l'ostacolo è costituito da una linea elettrica bisognerà provvedere a disconnetterla dalla rete durante il cantiere. In caso di linee telefoniche può valere la pena di considerare la posa a terra dei cavi durante il lavoro.

Per ogni esempio riportato si può applicare sia la raccolta associata che la cippatura integrale, secondo le richieste del mercato e l'organizzazione della ditta, anche se, nel caso del *tree-climbing* i quantitativi estremamente ridotti non giustificano il recupero del materiale.

L'*abbattimento con cestello telescopico* è l'unico sistema usato attualmente sui frangivento dell'Agro Pontino. La sequenza operativa è la seguente: un operaio su cestello taglia con la motosega le branche più grandi delle piante da eliminare. Il lavoro viene svolto ad altezze variabili, che possono arrivare anche a 20 metri.

Può essere effettuata una *raccolta associata* dove una volta a terra, i rami vengono ridotti e accatastati da un'altra coppia di operai muniti di motosega, che caricano direttamente il camioncino destinato a effettuare il trasporto presso il centro aziendale. La pro-

Cestello telescopico montato su un autocarro, cantiere sperimentale di Borgo Piave (LT)

duttività giornaliera del cantiere si aggira intorno ai 70 q di legna e ai 16 q di cippato, mentre il costo di produzione è di circa 8 €/q nel caso della legna e di 3 €/q per il cippato, consegnato in centrale.

I margini di ricavo sono esigui in entrambi i casi. Per la legna già spaccata infatti si considera un prezzo di mercato intorno ai 10-12 €/q, quindi con un passaggio in più rispetto a quanto prodotto in un cantiere-tipo. Nel caso del cippato, il ricavo si aggira sui 2 €/q, posto un prezzo di 50 €/t franco centrale.

Oppure può essere effettuata una *cippatura integrale*, dove il materiale a terra può essere concentrato con un bobcat, dotato di benna mordente e successivamente caricato su un autocarro a tre assi munito di gru, per il trasporto presso il centro aziendale. L'autocarro è predisposto per il carico longitudinale, con le fiancate chiuse da sponde o da una rete, per evitare la proiezione esterna di rami. Le sezioni di piante sono poi accatastate in centrale e stoccate qui fino al momento della cippatura, da effettuarsi, se possibile, immediatamente prima del consumo.

In alternativa, la cippatura può avvenire direttamente sul frangivento. È importante che la cippatrice possa lavorare in linea, per limitare l'ingombro della

Cantiere forestale dimostrativo dei frangivento di eucalipto a Borgo Piave (LT): Esempio 1 • Presenza di ostacoli e raccolta associata

Caratteristiche stazionali	
Comune	Latina
Località	Borgo Piave
Superficie del cantiere	103 mq
Tipologia di bosco	filare di Eucalyptus
Età del soprassuolo	30 anni
Densità	1.667 piante/ha

Tipo di intervento e risultati ottenuti	
Trattamento selvicolturale	Intervento di eliminazione di piante con carattere d'urgenza
Abbattimento	Motosega e cestello telescopico
Esbosco	Non presente
Allestimento e movimentazione	Allestimento con motosega sul letto di caduta. Carico manuale della legna su furgone e cippatura sul posto del materiale minuto (Ø < 4 cm)
Prelievo complessivo	17 piante/giorno
Materiale legnoso	circa 86 q/giorno (70 q legna e 16 q cippato)
Stima del costo di produzione	Legna da ardere: 8 €/q
del materiale legnoso*	Cippato: 3 €/q
Prezzo di vendita all'imposto della legna da ardere	10-12 €/q

Filiera Legna da ardere

Operazione	*Squadra*	*Costo cantiere*		*Costo produzione*
	(n. addetti)	*(€/giorno/unità)*	*(€/giorno)*	*(€/q)*
Abbattimento con cestello	1	340	340	4,0
Allestimento e movimentazione	2	96	192	2,2
Trasporto	1	110	110	1,6
Amministrazione e spese generali (10%)			64,2	0,8
Totale	*4*	*546*	*706,2*	*8,5*

Filiera Cippato

Operazione	*Squadra*	*Costo cantiere*		*Costo produzione*
	(n. addetti)	*(€/giorno/unità)*	*(€/giorno)*	*(€/q)*
Movimentazione e cippatura	1	150,0	150,0	1,7*
Trasporto	1	110,0	110,0	1,3
Amministrazione e spese generali (10%)			26,0	0,3
Totale	*2*	*260,0*	*286,0*	*3,3*

* Stima effettuata su 86 q di materiale.

sede stradale e che sia alimentata con una gru, dato il peso del materiale da cippare. A questo scopo è consigliabile utilizzare una cippatrice trattorata da 200 CV, in grado di sminuzzare materiale fino a 30-35 cm di diametro. Le scaglie di legno vengono soffiate direttamente nel cassone di un autocarro, anch'esso in linea con la cippatrice, trasportate in centrale e scaricate in un silos o sotto una tettoia, su una piattaforma di cemento. La produzione giornaliera di cippato si aggira sui 50 mc, equivalenti a circa 160 q, mentre il costo stimato è di 5,5 €/q. Senza la presenza di un contributo per la manutenzione, non si raggiunge la sostenibilità dell'intervento, penalizzata dalla fase dell'abbattimento, sempre molto lenta e quindi poco efficiente. Per ulteriori approfondimenti sulla tipologia di cantiere che prevede l'impiego di cestello telescopico, vedere la scheda tecnica allegata del cantiere dimostrativo di Borgo Piave (LT).

Cippato di eucalipto con pezzatura da fine a finissima, cantiere sperimentale di Borgo Piave (LT)

Cantiere forestale dimostrativo dei frangivento di eucalipto a Borgo Piave (LT): Esempio 2 • Presenza di ostacoli e produzione integrale di cippato

CARATTERISTICHE STAZIONALI	
Comune	Latina
Località	Borgo Piave
Superficie del cantiere	192 mq
Tipologia di bosco	filare di Eucalyptus
Età del soprassuolo	30 anni
Densità	1.667 piante/ha

TIPO DI INTERVENTO E RISULTATI OTTENUTI	
Trattamento selvicolturale	Intervento di eliminazione di piante con carattere d'urgenza
Abbattimento	Motosega e castello telescopico
Esbosco	Non presente
Movimentazione	Benna mordente su Bobcat
Cippatura	Cippatrice trattorata da 200 CV
Prelievo complessivo	32 piante/giorno
Materiale legnoso	circa 160 q/giorno di cippato
Stima del costo di produzione del materiale legnoso	5,5 €/q
Prezzo di vendita del cippato franco centrale	50 €/t

FILIERA CIPPATO

Operazione	*Squadra*	*Costo cantiere*		*Costo produzione*
	(n. addetti)	*(€/giorno/unità)*	*(€/giorno)*	*(€/q)*
Abbattimento con castello	1	340	340	2,1
Movimentazione	1	180	180	1,1
Trasporto	1	110	110	0,7
Amministrazione e spese generali (10%)			45,0	0,4
*Totale**	*3*	*630*	*675,0*	*4,3*

* Al costo di produzione va aggiunto il costo di cippatura, eseguita all'imposto o in centrale, pari a circa 1,2 €/q.

L'*abbattimento effettuato con tecnica tree-climbing* viene adoperato frequentemente in ambiti urbani, su esemplari isolati. Consente una drastica riduzione negli investimenti in attrezzature e una grande mobilità del cantiere, che può essere contenuto in una comune automobile. Per questo motivo, il sistema può risultare indicato quando occorra eliminare poche piante per sito, localizzate in punti particolarmente delicati dal punto di vista delle infrastrutture presenti. Occorre però tenere presente che i costi sono elevati, intorno ai 1.000 €/giorno più IVA. Non si hanno dati sulla produttività di questo sistema di lavoro, ma se ne presume l'applicabilità prevalentemente in un ambito cittadino, in cui la preoccupazione preminente è quella di salvaguardare l'incolumità pubblica.

L'*abbattimento con cesoia montata su braccio idraulico* è attualmente utilizzato solo all'estero.

In questo caso, occorre un'abbattitrice su braccio idraulico, con snodo bloccabile e motrice a ruote, omologata per la circolazione su strada. Un abbinamento del genere è fattibile scegliendo opportunamente gli elementi da combinare e procedendo agli adattamenti necessari. Un'alternativa potrebbe essere una cesoia montata su un braccio telescopico, in grado di lavorare a grandi altezze. In Scozia, ad esempio, è in corso la sperimentazione di un prototipo di troncatrice, pensata per cimare le conifere e ridurre così il rischio di schianti dovuti agli uragani. Si tratta di una motrice standard, a cui è stato applicato un braccio telescopico, dotato all'estremità di una cesoia e di telecamere, per individuare esattamente il punto in cui intervenire col taglio.

Considerazioni finali

La manutenzione dei frangivento dovrebbe essere continuativa e non avere il carattere di urgenza che attualmente la contraddistingue. Esistono delle caratteristiche intrinseche che ne abbassano la redditività, come ad esempio la diluizione nell'unità di spazio, l'incidenza su strade di transito o a ridosso di abitazioni. La presenza frequente di infrastrutture nell'area occupata dal cantiere consiglia l'adozione di attrezzature sicure, ma produttive, e la razionalizzazione di fasi critiche e costose – come l'allestimento e il trasporto – per ridurre i costi di produzione e consentire un minimo ricavo. L'unico modo per limitare i rischi e i costi è ricorrere a sistemi di raccolta maggiormente meccanizzati e razionali (anche in termini di logistica), che riducano i tempi di incidenza del cantiere e aumentino la produttività delle operazioni.

L'utilizzo del materiale raccolto come combustibile, legna da ardere o cippato, è strettamente legato e condizionato dal mercato locale in grado di recepirlo, ma rappresenta l'unica alternativa allo smaltimento, altrimenti oneroso, di una potenziale risorsa.

4.5 Protocollo di coltivazione e raccolta degli impianti di Short Rotation Forestry di pioppo

Enrico Bonari, Giorgio Ragaglini, Cristiano Tozzini - *Land Lab Scuola Superiore 'Sant'Anna', Pisa*

Marco Ginanni - *Ciraa Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi", Pisa*

Introduzione

Per *Short Rotation Forestry* (Srf) si intende la coltivazione in impianti particolarmente densi di specie legnose a rapido accrescimento, dotate di elevata capacità pollonifera, ripetutamente ceduate a intervalli brevi, per lo più variabili da 1 a 4-5 anni, nell'arco della vita utile della piantagione. Nell'Europa mediterranea il ceduo a turno breve è ancora in fase di introduzione e negli ultimi anni in Italia si è assistito a una crescita della superficie destinata a Srf, prevalentemente nelle regioni settentrionali, grazie anche agli appositi finanziamenti previsti da alcune regioni nei rispettivi Piani di Sviluppo Rurale.

Tra le specie impiegabili (pioppo, salice, robinia, eucalipto ecc.) nei nostri ambienti risulta di particolare interesse il pioppo, sia per la buona adattabilità alle nostre caratteristiche agropedoclimatiche, sia per l'elevato livello quantitativo e qualitativo delle produzioni ottenibili.

Il ciclo colturale del pioppo a Srf prevede, dopo l'impianto a fine inverno/inizio primavera, lo sviluppo della piantagione fino all'autunno inoltrato, quando iniziano a cadere le foglie; in inverno le piante restano notoriamente a riposo fino alla primavera, allorché si ha la ripresa del ciclo vegetativo descritto. Nella primavera immediatamente successiva all'eventuale ceduazione invernale, invece, si registra il germogliamento di numerose gemme situate alla base della ceppaia, da cui si originano altrettanti polloni che vanno a costituire la massa aerea della nuova vegetazione.

La durata media di un impianto è indicativamente di 10-12 anni ma questa dipende da numerose variabili tra cui, ad esempio, il livello di intensificazione colturale. Dato che nella Srf questo si identifica soprattutto con il turno di ceduazione adottato, appare già evidente l'importanza che questo riveste nella durata di un impianto; accorciando troppo il turno, infatti, si aumenta la mortalità delle ceppaie e si riduce di conseguenza la vita produttiva dell'impianto.

La tecnica colturale

La scelta del clone e le esigenze pedoclimatiche

Il pioppo si propaga normalmente per via vegetativa e per questo a livello di scelta varietale si parla di "cloni"; questi sono notoriamente caratterizzati da un'elevata uniformità morfologica e fisiologica. Questa particolare caratteristica del materiale di propagazione è molto importante dato che una notevole adattabilità all'ambiente di coltivazione di tutti gli individui che compongono la popolazione è la prima garanzia di buone prestazioni in termini di produttività, resistenza alle avversità biotiche e abiotiche e facilità di gestione agronomica. In Italia la scelta dei cloni di pioppo è regolamentata dal *Registro nazionale dei Cloni Forestali*, nel quale sono stati iscritti solo da poco tempo anche alcuni cloni recentemente selezionati come specifici per la coltivazione a Srf. Il nuovo materiale genetico, oltre a essere caratterizzato da un'elevata produttività in termini di biomassa, presenta anche importanti miglioramenti quanto a capacità di ricaccio dopo la ceduazione, ramosità laterale, portamento, durata del periodo vegetativo, adattabilità ai terreni, tolleranza alle avversità ecc.

Per quanto riguarda le esigenze pedoclimatiche, in linea generale il pioppo è una specie piuttosto esigente in termini sia di fertilità del terreno, sia di disponibilità idrica; nonostante questo, predilige terreni tendenzialmente sciolti o di medio impasto poiché è molto sensibile al ristagno idrico; in fase di riposo invernale, non teme le basse temperature (può resistere fino a −20°C), mentre in fase di attiva crescita vegetativa la pianta tollera al massimo temperature minime di poco inferiori allo zero (fino a -2°C).

1. Trapiantatrice a rulli

2. Trapiantatrice a cingoli

3. Macchina per la messa a dimora degli astoni (lavoro in verticale)

4. Fase della messa a dimora dell'astone in posizione orizzontale

Nei differenti areali di possibile coltivazione del pioppo a Srf in Italia, sono in corso da alcuni anni diverse esperienze di confronto fra cloni più o meno adatti alle caratteristiche ambientali delle diverse zone, promosse da enti pubblici e/o da privati; gli agricoltori interessati possono attingere dai risultati ottenuti le indicazioni migliori per le loro specifiche situazioni aziendali.

La preparazione del terreno

La lavorazione principale del terreno deve fondamentalmente garantire un adeguato approfondimento degli apparati radicali, un sufficiente accumulo delle risorse idriche e, al contempo, un efficace allontanamento delle acque in eccesso; i successivi lavori complementari dovranno poi consentire un'ideale messa a dimora del materiale di propagazione attraverso l'affinamento della zollosità superficiale. Di norma, in rapporto alle caratteristiche del terreno e al clima della zona, si suggerisce di ricorrere a una lavorazione principale adeguatamente profonda (almeno 45-50 cm), sia che si preveda la tradizionale aratura, sia che si preferisca adottare una lavorazione di discissura (seguita da una erpicatura robusta) o una lavorazione a doppio strato (discissura profonda + aratura leggera).

L'impianto

Il materiale di propagazione è generalmente costituito da talee (sezioni di fusto di 25-30 cm di lunghezza) che vengono infisse verticalmente nel suolo per mezzo di specifiche trapiantatrici (a cingolo o pneumatiche). La messa a dimora, che avviene durante la fase di riposo vegetativo (ovvero sul finire del periodo invernale), può essere realizzata a fila singola o binata (nei nostri ambienti la fila binata sembra comportare qualche difficoltà di gestione delle infestanti tra le file della bina). La scelta del sesto d'impianto è funzione, oltre che dell'ambiente di col-

tivazione, anche e soprattutto del turno di ceduazione e dei cantieri di raccolta adottati: in prove di lungo periodo condotte nella pianura pisana con turno biennale e/o triennale, i migliori risultati sono stati ottenuti con densità comprese tra le 7.000 e le 10.000 piante per ettaro (da 2,5 x 0,4 m fino a 2,7 x 0,5 m).

La meccanizzazione dell'impianto

Per quanto riguarda lo sviluppo di macchine specifiche per l'impianto della SRF, le linee seguite nella messa a punto delle attrezzature di campo sono differenziate a seconda del materiale di propagazione utilizzato. Per la messa a dimora delle talee si possono impiegare delle trapiantatrici portate a rulli (*foto 1*) o a cingoli (*foto 2*) che inseriscono le talee verticalmente nel terreno. Lo sviluppo tecnico di tali macchine è stato indirizzato principalmente verso il contenimento dei tempi di lavoro (e quindi dei costi), cercando di semplificare l'inserimento della talea da parte dell'operatore nell'organo meccanico.

Oltre alle trapiantatrici per talee esistono anche macchine per la messa a dimora di astoni, sia in senso verticale (*foto 3*) che orizzontale (*foto 4*). Quest'ultima macchina crea un solco nel terreno su cui viene adagiato l'astone (porzione di circa un metro) in posizione orizzontale, successivamente ricoperto con terra dalla medesima macchina.

La maggior parte degli impianti di SRF di pioppo (se non la totalità) sono stati realizzati per mezzo di talee, sia per il minor costo complessivo sostenuto per ettaro che per la maggiore capacità di attecchimento registrata.

La fertilizzazione

La concimazione fosforica e potassica necessaria allo sviluppo della coltura durante l'intero ciclo produttivo viene di norma effettuata solo all'impianto, mentre l'azoto viene distribuito sia all'impianto che dopo ogni ceduazione (unico momento con la coltura in atto in cui si può "entrare in campo" con le macchine operatrici). A titolo indicativo, il regime medio di asportazioni a opera della SRF per ogni tonnellata di sostanza secca prodotta si attesta sui 4-6 kg dei tre elementi N, P e K, anche considerato che le asportazioni effettive tengono conto del fatto che, con la caduta delle foglie, il pioppo restituisce al suolo circa il 60-80% dei nutrienti asportati.

L'irrigazione

A causa dell'elevato costo economico ed energetico dell'irrigazione e la notoria situazione di forte carenza idrica che caratterizza le aree mediterranee, questa dovrebbe essere prevista solo come pratica di soccorso, in maniera assolutamente localizzata, che risulta particolarmente utile nel primo e secondo anno di vita dell'impianto e/o in annate decisamente siccitose.

Il controllo delle piante infestanti

Dopo la distruzione delle infestanti direttamente effettuata con la preparazione del terreno per l'impianto, il successivo controllo delle malerbe si effettua soprattutto nel primo anno di coltivazione con la lavorazione meccanica dell'interfila. In genere, negli anni successivi al primo, la crescita e la copertura vegetale del pioppo garantiscono un controllo naturale della flora spontanea, anche se in alcuni ambienti può essere necessario intervenire di nuovo meccanicamente nella primavera successiva alla ceduazione.

Il controllo fitosanitario

L'elevata umidità dovuta all'alta densità di impianto crea le condizioni favorevoli allo sviluppo di parassiti fungini quali *Cytospora* spp. e *Discosporium populeum*, come pure il frequente turno di taglio può favorire l'insediamento nelle ceppaie di insetti corticicoli e xilofagi (quali *Cossus cossus, Cryptorhynchus lapathi* ecc.). Il ricaccio post-ceduazione e le giovani foglie che nascono alla ripresa vegetativa possono essere attaccati dalla *Chrysomela populi*, coleottero causa di defogliazioni che possono ripercuotersi sull'accrescimento della pianta. Defogliazioni importanti si possono avere anche in presenza di massicci attacchi di *Leucoma salicis*.

Per il controllo fitosanitario la strategia migliore, viste le difficoltà di accesso in campo con i mezzi meccanici quando la coltura è avviata, è la scelta di cloni resistenti alle principali avversità. Particolare cura andrà poi posta nella scelta del sito d'impianto, lontano da pioppete abbandonate o da terreni che presentano frequenti fenomeni di allagamento.

La raccolta

La raccolta della SRF di pioppo va eseguita esclusivamente durante il riposo vegetativo (indicativamente nel periodo da novembre a marzo) per non compromettere la vitalità delle ceppaie.

Per quanto riguarda la strategia di raccolta, i cantieri ipotizzabili sono sostanzialmente due:

- Taglio, cippatura/pezzatura e carico in una sola soluzione
- Raccolta in due passaggi: abbattimento delle piante e concentrazione; successiva cippatura e trasporto.

Nel primo caso si ottiene cippato (scaglie di legno di dimensioni variabili); oppure pezzato (pezzi di fusto di circa 40-50 cm). I mezzi impiega-

ti per questo cantiere sono macchine specializzate (portate o semoventi) simili concettualmente alle falcia-trincia-caricatrici da mais e il cantiere è completato da due rimorchi e dalle trattrici che li portano in modo da evitare i tempi morti.

Esistono in commercio varie tipologie di macchine che si adattano ai diversi turni di ceduazione e quindi a diametri diversi dei polloni. Di derivazione nord-europea sono le macchine con testata monofilare (*foto 5*), generalmente semoventi che si adattano essenzialmente a turni di ceduazione molto brevi (annuale o al massimo biennale). I limiti di questa soluzione sono rappresentati dal costo di acquisto (piuttosto elevato) e dal peso, che ne limita drasticamente l'impiego in periodi piovosi, durante i quali i terreni hanno scarsa portanza. Il prodotto finale è rappresentato esclusivamente da cippato.

La tendenza che si sta registrando in Italia nel mercato delle macchine per la raccolta è lo sviluppo di macchine portate (*foto 6*), in genere più economiche e leggere. Con questa tipologia, inoltre, si riescono a tagliare piante con diametri superiori ai 10 cm, fatto che consente di gestire anche impianti impostati con turni di ceduazione più ampi. Il prodotto raccolto con questa macchina può essere sia cippato che pezzato.

Nella seconda grande tipologia di cantiere le piante sono abbattute con una sega circolare portata (*foto 7*), vengono poi concentrate a bordo campo o trasportate al centro aziendale (*foto 8*) e stoccate come tali. In questo caso, durante lo stoccaggio il materiale perde lentamente umidità in maniera naturale, senza andare incontro a fermentazioni indesiderate. Successivamente, quando necessario, le piante vengono cippate.

La trasformazione e utilizzazione

Il *cippato* di pioppo può essere bruciato tal quale, può essere pre-essiccato per migliorare la combustione, oppure può essere trasformato in *pellet* o *briquette* (vedi *5. I combustibili legnosi*).

Il pellet (*foto 9*) è la risultante della lavorazione e compressione della biomassa lignocellulosica e pre-

5. Macchina con testata monofilare

6. Macchina portata

7. Abbattimento della Short Rotation Forestry

8. Raccolta della Short Rotation Forestry

9. Pellet

10. Briquette commercializzate in confezioni di cartone

senta caratteristiche molto apprezzate da particolari segmenti di mercato: il materiale risulta infatti più omogeneo, con un minore contenuto di acqua (< 10%, che viene in parte allontanata nel corso del processo di produzione), di ridotte dimensioni – che ne facilitano la movimentazione sia in azienda che presso gli utilizzatori finali.

Le *briquette* (*foto 10*) sono tronchetti di materiale legnoso pressato di circa 7-8 cm di diametro e 30 cm di lunghezza e si adattano bene alle caldaie di piccola dimensione.

La biomassa lignocellulosica può trovare collocazione in diversi mercati: dalla grande centrale elettrica in co-combustione con il carbone, a impianti di medio-piccola dimensione per esigenze locali, fino alle singole utenze termiche domestiche.

La produttività orientativa della Short Rotation Forestry di pioppo

Come in precedenza accennato, la diffusione della SRF di pioppo in Italia è ancora nelle prime fasi di sviluppo e notevole è il lavoro che stanno svolgendo (e che aspetta nel prossimo futuro) i vivaisti per lo sviluppo di cloni adatti alle diverse esigenze pedoclimatiche dei differenti areali di coltivazione.

Dalle esperienze condotte fino a oggi in ambito nazionale, la produttività della SRF risulta assai variabile, essenzialmente in funzione delle diverse condizioni riscontrate quanto a clima, tipologia e caratteristiche dei terreni, tecnica colturale adottata (soprattutto turno di ceduazione e sesto d'impianto) e cloni impiegati.

Per quanto riguarda la regione Toscana, le sperimentazioni e i monitoraggi condotti per più anni dalla Scuola Superiore 'Sant'Anna' di Pisa presso i terreni del Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali 'E. Avanzi' a San Piero a Grado (PI) e presso il Centro regionale per il collaudo e il trasferimento dell'Innovazione-ARSIA di Cesa (AR), confermano questa variabilità, che sembra accentuarsi in questi ultimi anni in cui le condizioni climatiche registrate si sono, a volte, discostate sensibilmente da quelle tipiche della zona.

Dovendo riportare un valore plausibile di resa media pluriennale, le esperienze monitorate fanno ipotizzare per condizioni pedoclimatiche similari produzioni di biomassa dalle 15 alle 20 tonnellate per ettaro e per anno di materiale secco.

I costi della Short Rotation Forestry di pioppo

La valutazione dei costi di produzione della biomassa lignocellulosica da SRF di pioppo è stata realizzata a partire da valori estrapolati dalla contabilità aziendale del CIRAA 'E. Avanzi' (sede delle esperienze pluriennali cui si è fatto cenno in precedenza) a cui è stato necessario apportare una serie di integrazioni dato che alcune voci, specialmente quelle legate alla meccanizzazione della raccolta, non hanno riferimenti stabili nell'attuale panorama del contoterzismo nazionale a causa della carenza di aziende capaci di realizzarle. In questo senso, le esperienze effettuate in questi anni, sia in ambito regionale che nazionale, spesso si avvalgono di mezzi ancora prototipali di cui è difficile stimare il costo di acquisto. Anche per il materiale vegetale di propagazione, in Italia non sono molti gli operatori del settore vivaistico che hanno a disposizione materiale commerciabile e questo aspetto inibisce una corretta concorrenza di mercato che porterebbe a prezzi più contenuti.

Comunque, la valutazione dei costi di produzione è stata realizzata facendo riferimento alla contabilità aziendale per le comuni operazioni agricole e per

il costo di alcuni mezzi tecnici (talee, concimi e diserbanti) mentre per gli altri è stata effettuata attraverso interviste dirette alle aziende produttrici di macchine "dedicate" (trapianto e raccolta). Nei casi in cui era necessario, si è fatto riferimento al tariffario dei contoterzisti opportunamente ridotto del 20% per tenere conto di un adeguato reddito d'impresa.

LO STOCCAGGIO

Lo stoccaggio del materiale fresco è uno dei punti critici delle fasi post-raccolta della biomassa a causa dello spazio e delle strutture richieste, ma anche e soprattutto per le possibili ripercussioni dirette sulla qualità della biomassa stessa. Le possibili soluzioni sono legate non solo al tipo di materiale ma anche all'ambiente in cui ci si trova a operare, in quanto il problema fondamentale è rappresentato dal discreto quantitativo di acqua (molto spesso superiore al 45-50%) che caratterizza la biomassa appena raccolta. Per una corretta conservazione il tenore di umidità deve essere necessariamente abbassato per contenere i fenomeni degradativi che porterebbero a un decremento sia qualitativo che quantitativo del prodotto vendibile.

La scelta del metodo di stoccaggio (*fig. 1*) è inevitabilmente funzione della disponibilità di spazio o di strutture capaci di contenere grandi quantità di materiale. Alcune soluzioni apprezzabili dal punto di vista della riduzione dell'umidità nella biomassa si rivelano a volte troppo dispendiose da un punto di vista energetico ed economico oppure irrealizzabili per mancanza di spazio. In linea generale, lo stoccaggio può essere effettuato all'aperto o in locali chiusi e ciascuna delle due tipologie presenta vantaggi e svantaggi che di seguito si riassumono brevemente.

Stoccaggio all'aperto

La tecnica dello stoccaggio all'aria aperta deve essere impostata in funzione dell'andamento meteorico stagionale tipico dell'area, che influenza, necessariamente, la forma e/o l'altezza dei cumuli, la necessità o meno di copertura ecc. Importanti sono anche le caratteristiche della superficie su cui saranno posti i cumuli: ad esempio, su terreni pesanti che trattengono maggiormente l'acqua potrebbero verificarsi problemi aggiuntivi a causa di fenomeni di risalita capillare.

In generale, comunque, nello stoccaggio del cippato sono da preferirsi cumuli alti e di forma conica in quanto, specialmente in caso di piogge abbondanti, l'inclinazione delle pareti permette un allontanamento rapido e più efficiente dell'acqua meteorica. La disposizione in cumuli di grandi dimensioni rispetto a quelli più piccoli, inoltre, permette di ridurre la superficie esposta agli agenti atmosferici, aspetto positivo dato che, in pressoché tutte le soluzioni adottabili, lo strato più superficiale (20-30 cm) tende ad andare incontro inesorabilmente a riduzioni qualitative. All'interno del cumulo, invece, si instaurano molto rapidamente dei processi fermentativi che fanno innalzare bruscamente la temperatura fino a circa 70°C. Questo, oltre a creare le condizioni favorevoli all'accrescimento e alla proliferazione di funghi termofili (nocivi alla qualità del prodotto, ma anche alla salute umana) potrebbe provocare pericolosi fenomeni di autocombustione specialmente durante la stagione estiva.

Per mantenere bassa la temperatura e omogeneizzare il contenuto di umidità nei cumuli, in alcuni casi si procede anche al rimescolamento meccanico del materiale; trattasi di un'operazione tutt'altro che semplice, specialmente quando si tratta di cumuli molto grandi, senza contare che la "rottura" dello

Tab. 1 - Costi tecnici, meccanici e totali della Short Rotation Forestry di pioppo (in €/ha)

	Turno biennale			*Turno triennale*		
Operazioni	*Costi mezzi tecnici*	*Costi mezzi meccanici*	*Costi totali*	*Costi mezzi tecnici*	*Costi mezzi meccanici*	*Costi totali*
Preparazione del terreno[1]		190	190		190	190
Concimazione[2]	382	147	488	300	105	446
Impianto[3]	1700	525	2225	1360	525	1885
Diserbo	44	36	80	44	36	80
Raccolta[4]		3640	3640		2600	2600
Trasporto[5]		1120	1120		800	800
Ripristino del terreno[6]		330	330		330	330
Costo annuale	*177*	*499*	*676*	*142*	*382*	*524*

[1] Aratura profonda + 2 frangizzolature
[2] Da effettuarsi all'impianto e dopo ogni ceduazione
[3] 0,17 € talea (10.000 biennale, 8.000 triennale)
[4] Cippatrice portata (6 raccolti biennale, 4 triennale)
[5] Distanza di 50 km
[6] Trinciatrice forestale + frangizzollatura + aratura 50 cm + frangizzollatura.

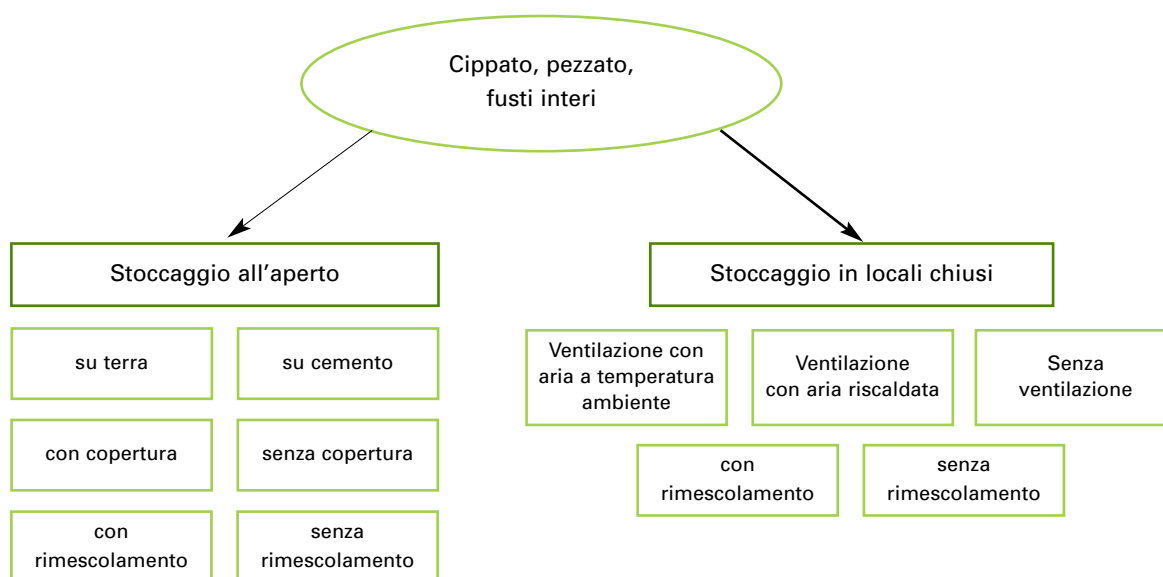



Fig. 1 - Schema dei metodi di stoccaggio

strato superficiale espone nuova biomassa agli agenti atmosferici aumentando il quantitativo di materiale che andrà perso. È poi evidente che il rimescolamento del materiale rappresenta un ulteriore costo sia economico che energetico.

Da alcune esperienze condotte nel Nord Europa emerge che nel caso di materiale cippato e stoccato in cumuli conici con altezza di circa 6 metri l'umidità scende al 30-35% dopo circa due mesi con una perdita di prodotto, principalmente nello strato superficiale, pari a circa il 15-18%.

Diversa è la situazione nel caso di materiale di dimensioni maggiori (pezzato e fusti interi), che non sviluppa alte temperature all'interno dei cumuli, perde umidità più lentamente rispetto al cippato (specialmente nei primi mesi di stoccaggio) senza andare incontro, però, a perdite dovute a fenomeni fermentativi.

Una possibile soluzione per lo stoccaggio all'aperto della biomassa della SRF consiste nel posizionare dei teloni traspiranti sopra i cumuli di materiale legnoso; questo accorgimento impedisce alla pioggia di bagnare la massa, consente di ridurre il suo contenuto di umidità (fino al 35%) in tempi brevi e, contemporaneamente, di limitare il deterioramento dello strato più superficiale del cumulo.

Stoccaggio in locali chiusi

Lo stoccaggio della biomassa in locali chiusi può essere effettuato con diverse modalità, soprattutto dipendenti dal livello tecnologico aziendale e dalla razionale gestione delle risorse economico-finanziarie. La procedura permette ovviamente di limitare al massimo le perdite di prodotto utile, con vantaggi economici che però non sempre riescono a giustificare gli investimenti necessari.

A livello europeo esistono alcune esperienze aziendali di stoccaggio in locali chiusi e tutte prevedono il rimescolamento del prodotto in modo da omogeneizzare la superficie esposta all'aria, velocizzare l'abbattimento dell'umidità e contenere i processi fermentativi.

Inoltre, l'adozione della ventilazione forzata è di solito utilizzata nei locali di stoccaggio delle centrali che possono dedicare una parte dell'energia e del calore (che spesso non viene riutilizzato) per questo scopo. Una soluzione praticabile per ridurre l'umidità della biomassa potrebbe essere proprio quella di sfruttare, in presenza di centrali vicine, parte del calore prodotto per l'essiccazione diretta della stessa. L'essiccazione può anche essere solo parziale, tale da arrivare a valori di umidità inferiori al 35%, soglia al di sotto della quale sono inibiti (o comunque fortemente rallentati) i processi fermentativi e le relative perdite.

APPROFONDIMENTI SULLA MECCANIZZAZIONE DELLA RACCOLTA

La disponibilità di macchine operatrici in grado di realizzare in maniera efficiente ed efficace la raccolta di SRF di pioppo o eucalipto o salice, per la produzione di biomasse legnose a fini energetici, rappresenta uno degli elementi critici nella tecnica di gestione di queste colture; da oltre 10 anni la ricerca nell'ambito della meccanica agraria lavora per la messa a

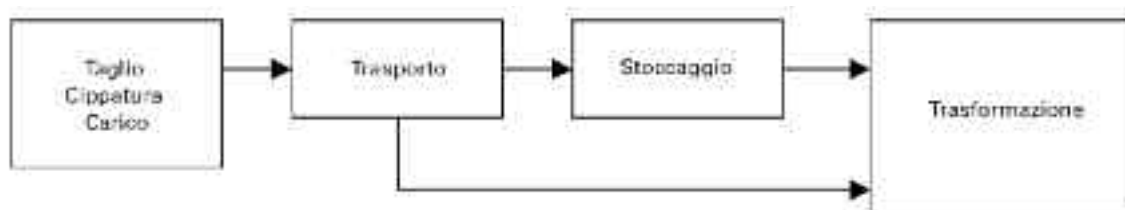



Fig. 2 - Diagramma di flusso del processo di utilizzazione della biomassa

punto di prototipi o di cantieri a diverso livello di complessità in grado di operare correttamente e a costi contenuti la raccolta del prodotto finale.

La tipologia del materiale e il suo notevole grado di umidità, i sesti d'impianto caratterizzati da un'elevata densità di piante per ettaro e da distanze tra le file oscillanti tra i 2 e i 3 metri, la necessità di procedere all'eventuale frammentazione del materiale raccolto per agevolarne la movimentazione e, infine, l'epoca in cui le operazioni di raccolta vengono realizzate (tra il periodo autunnale e la metà di marzo per gli ambienti dell'Italia Centrale) rappresentano, insieme ad altri, elementi che da sempre hanno fortemente condizionato le possibilità di meccanizzare le operazioni di raccolta delle SRF.

A questi fattori limitanti si accompagna l'esigenza di ottenere livelli produttivi interessanti, sia quantitativamente che qualitativamente, obiettivo che può essere perseguito aumentando l'intervallo intercorrente tra una ceduazione e l'altra. In presenza di turni di ceduazione piuttosto lunghi, infatti, accanto a un maggior livello di produzione ottenibile, grazie a un minor rapporto corteccia/legno, anche il prodotto finale presenta caratteristiche qualitative superiori rispetto al materiale ottenibile con turni di taglio stretti. Tuttavia, l'aumento del numero di anni intercorrenti fra una ceduazione e quella successiva comporta inevitabilmente l'aumento del diametro basale delle piante. I modelli per la raccolta e la contestuale cippatura del materiale legnoso raccolto, fino a oggi presenti sul mercato, avevano la capacità di operare in maniera corretta su piante di diametro contenuto (in genere non superiori a circa 60 mm) o ancora su piante monocaule, situazione che, in genere, si presenta solo al termine del primo ciclo di crescita.

Nelle attività di ricerca condotte nell'ambito del progetto interregionale Woodland Energy, si è ritenuto interessante testare le potenzialità offerte da due nuove operatrici che sembrano in grado di conciliare le condizioni imposte dallo sviluppo e dall'assetto delle coltivazioni di SRF e i costi dell'operazione.

In particolare, negli impianti di SRF di pioppo (*Populus deltoides* clone Lux) presenti presso il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" di San Pietro a Grado (PI), sono state testate due macchine di recente realizzazione in grado di operare il taglio di piante di pioppo (in alternativa, di eucalipto o salice) gestite – per sesto d'impianto e turno di ceduazione – secondo le modalità maggiormente consolidate nella tecnica di coltivazione delle SRF per gli ambienti del Centro Italia:

- la falciacippacaricatrice
- la falciapezzacaricatrice.

LA FALCIACIPPACARICATRICE

La falciacippacaricatrice RT 500 sottoposta a test, è una macchina di recente costruzione, realizzata per l'abbattimento delle SRF, con turno di ceduazione superiore all'anno, la loro successiva cippatura e il carico del materiale cippato su di un carro adibito al trasporto del prodotto finale.

La *fig. 2* illustra il diagramma di flusso del processo di utilizzazione della biomassa.

Le principali caratteristiche costruttive della macchina sono riportate in *tab. 2*.

La macchina utilizzata (*foto 11*) è un'attrezzatura semiportata che richiede accoppiamenti con trattrici di potenza pari o superiore a 121 kW (165 CV).

Oltre alla potenza, necessaria per il funzionamento della falciacippacaricatrice, l'accoppiamento più

11. Operatrice RT 500

Tab. 2 - Principali caratteristiche costruttive dell'operatrice RT 500

Caratteristiche meccaniche		
Apparato di taglio	diametro lame di taglio	Ø 550 mm
	velocità rotazione lame di taglio	2500 giri/min
Alimentazione	rulli di alimentazione	4
Apparato di cippatura	velocità di rotazione rulli di alimentazione	120 giri/min
	diametro disco di cippatura	Ø 1030 mm
	velocità di rotazione disco cippatura	1000 giri/min
	numero coltelli radiali	2
Scarico del prodotto	sistema di regolazione del lancio	idraulico
	angolo di brandeggio del tubo di scarico	190°
Apparato idraulico	numero pompe / motori	2 / 7
	capacità del serbatoio dell'olio	160 litri
	pressione di esercizio	8 MPa
Dimensioni e peso	altezza in fase trasporto / in fase lavoro	2700 mm / 4500 mm
	lunghezza	2900 mm
	larghezza	2250 mm
	peso	1800 kg

idoneo con questo tipo di attrezzatura è quello realizzabile con una trattrice a guida reversibile o, in alternativa, a una trattrice munita di sollevatore e presa di forza anteriore; entrambe le tipologie di trattrici consentono all'operatore alla guida un migliore e più comodo controllo della testata di raccolta della macchina operatrice.

A causa dei possibili fenomeni di ribaltamento cui può andare incontro, l'operatrice non risulta idonea per la raccolta di SRF in aree declivi con pendenze superiori al 10%.

L'abbattimento delle piante avviene a opera di due lame circolari poste nella parte anteriore dell'operatrice (*foto 12*). Le due lame controrotanti, con diametro pari a 550 mm con riporto in widia, in presenza di una corretta velocità di avanzamento dell'operatrice, sono in grado di tagliare le piante senza compromettere l'integrità della ceppaia destinata a rigenerare nuovo materiale legnoso nel successivo ciclo di crescita.

L'altezza del taglio rispetto al terreno può essere variata dall'operatore regolando l'altezza delle ruote gommate di appoggio dell'operatrice. L'altezza di taglio, come nel caso delle prove realizzate presso il Centro "E. Avanzi" si è attestata tra gli 8 e i 12 cm. Tale altezza, pur non consentendo la raccolta completa del materiale legnoso presente in campo, si è dimostrata però in grado di garantire una successiva abbondante emissione di polloni delle piante ceduate alla ripresa vegetativa primaverile.

L'operatore posiziona la trattrice esattamente a cavallo della fila da abbattere affinché le lame di

12. Operatrice RT 500, sistema di taglio e convogliamento

13. Operatrice RT 500, convogliamento del prodotto verso l'apparato di cippatura

taglio siano centrate in corrispondenza della fila di ceppaie da ceduare.

Le piante, una volta abbattute dalle due lame controrotanti, vengono convogliate da due rulli verticali verso un alimentatore costituito da due rulli orizzontali, anch'essi controrotanti, che rappresentano i veri e propri alimentatori della parte cippante dell'operatrice (*foto 13*).

Le piante vengono quindi sottoposte a cippatura e il materiale così ottenuto è "convogliato", mediante un tubo di lancio (la cui estremità è orientabile dall'operatore), su un rimorchio. Il trattore trainante il rimorchio si muove in maniera sincrona e parallela all'operatrice per la raccolta, il cui tubo di lancio deve essere posto perpendicolarmente alla direzione di avanzamento. In queste condizioni le eventuali perdite di prodotto vengono ridotte a valori minimi (< 1%).

Il numero di carri destinati al trasporto del cippato presso il punto di stoccaggio (o di trasformazione) è necessariamente legato alla distanza del sito dal campo e alla produttività (in termini di t/ha) dell'impianto di SRF. Comunque, al pari di tutte le operatrici per la raccolta, il numero di rimorchi che seguono l'operatrice deve essere in grado di garantire la sufficiente continuità di lavoro del cantiere di raccolta.

L'avvio delle operazioni di raccolta, con il carrello che procede parallelamente all'operatrice, richiede, inoltre, la presenza di un corridoio per consentire il transito del rimorchio trainato. In alternativa può essere immaginato che il primo passaggio in campo sia realizzato dalla medesima trattrice cui è accoppiata l'operatrice, trainante nel contempo un carro rimorchio. In questo caso, il tubo di lancio del cippato sarà orientato – per lo scarico del prodotto – nel rimorchio posto alle spalle dell'operatore addetto alla raccolta.

Per il cantiere considerato, oltre a idonei spazi per lo stoccaggio nelle vicinanze del campo, devono necessariamente essere presenti alle testate dei campi spazi di manovra in grado di rendere agevoli le operazioni di voltata delle trattrici impiegate. A tal fine è stato necessario lasciare liberi circa 10 metri di spazio. In queste condizioni le operazioni di voltata si svolgono in maniera sufficientemente agevole e i tempi di voltata oscillano, nelle condizioni operative testate, intorno alle 0,2 h/ha; nelle prove realizzate presso i campi sperimentali del Centro "E. Avanzi" i tempi connessi alle manovre in testa hanno inciso in misura mediamente pari al 5% sui tempi di raccolta. I tempi correlati alle manovre di voltata in testa al campo non hanno mostrato variazioni apprezzabili in presenza di interfila oscillanti tra i 2 e i 2,5 metri per campi mediamente larghi 26 m.

L'operatrice è stata in grado di operare correttamente la raccolta procedendo con velocità di avanzamento ampiamente oscillanti in relazione alla produttività dell'impianto di SRF. Tale parametro si è attestato intorno ai 5,34 km/h quando è stata impiegata in occasione del taglio su un impianto giunto al termine del primo ciclo di crescita (F2R2), con produzione piuttosto limitata (pari a 35 t/ha di sostanza fresca), per raggiungere poi valori nettamente inferiori quando è stata impiegata su impianti a più elevata produttività. In presenza di quantità di prodotto pari a circa 80 t/ha di sostanza fresca, la velocità di avanzamento si è ridotta a valori pari a circa 1,44 km/h.

Dalla *tab. 3* è possibile evidenziare le diverse velocità adottate in presenza di impianti con diverse potenzialità produttive.

La diversa velocità di avanzamento, adottabile in relazione alla quantità di prodotto raccoglibile e alla dimensione delle piante, ha consentito tempi operativi oscillanti tra 2,82 h/ha per gli impianti a più bassa produttività e 3,65 h/ha per gli impianti a produttività più elevata. L'operatrice, inoltre, ha mostrato, in presenza delle velocità di avanzamento indicate, di poter operare correttamente la raccolta di tutti i polloni generati dalle ceppaie (*tab. 3*) e pertanto di poter essere impiegata in modo realistico per le operazioni di ceduazione successive al primo taglio.

Dalla stessa tabella è possibile notare che le operazioni di raccolta risultano tanto meno onerose, in termini di consumi di combustibile per unità di prodotto raccolta, in presenza di elevate produttività dell'impianto di SRF. Il consumo di combustibile dell'operatrice, attestandosi mediamente intorno ai 20 kg/ha, mostra infatti un minor consumo di gasolio per unità di biomassa raccolta allorquando venga impiegata su impianti a elevata produttività. Il consumo di combustibile è infatti variato dagli 1,5 kg/t di cippato fresco raccolto nel caso di produzioni di 34,3 t/ha a 1 kg/t di cippato fresco raccolto quando è stata impiegata nell'impianto a produttività più elevata.

La conseguenza immediata è che l'incidenza dei costi di trasporto sui costi di produzione aumenta in maniera decisiva negli impianti a più bassa potenzialità produttiva. Nel caso delle prove realizzate presso il Centro "E. Avanzi", negli impianti con maggiori potenzialità produttive, i consumi di combustibile per il trasporto del cippato incidono per circa il 24% sui consumi del cantiere nel suo complesso, mentre negli impianti a più bassa produzione i costi di trasporto incidono per oltre il 30%.

Il cippato ottenuto presenta dimensioni inferiori ai 25 mm per circa l'80% in peso, per il 14% dimensioni comprese tra 50 e 25 mm e per il 5% dimensioni superiori ai 50 mm.

Tab. 3 - Principali caratteristiche operative dei cantieri di raccolta realizzati su due impianti caratterizzati da diverso livello produttivo

		Turno di taglio biennale	*Turno di taglio quadriennale*
Sesto d'impianto	m	2,0 x 0,5	2,0 x 0,5
Tempo effettivo (TE)	h/ha	2,64	3,47
Tempo voltate (TAV)	h/ha	0,18	0,18
Tempo operativo (TO = TE + TAV)	h/ha	2,82	3,65
Rendimento operativo (TE/TO)	%	94	95
Velocità di lavoro	km/h	1,89	1,44
Capacità operativa	ha/h	0,35	0,27
Produzione oraria operativa	t/h	12,0	22,1
Produzione raccolta di sostanza fresca per ettaro	t/ha	34,3	81,8
Polloni per ceppaia (media)	n.	6	2
Consumo orario di combustibile	kg/h	18,2	22,1
Consumo per ettaro di combustibile	kg/ha	51,3	80,6
Consumo della macchina per tonnellata di prodotto raccolto	kg/t	1,49	0,98
Consumi per trasporto	kg/ha	19,5	25,2
Consumi per tonnellata di prodotto trasportato	kg/ha/t	0,57	0,31
Consumo del cantiere per tonnellata di prodotto raccolto	kg/t	2,06	1,29

Fig. 3 - Consumi di combustibile registrati complessivamente su cantieri di raccolta di SRF di pioppo a turno quadriennale e turno biennale con incidenza dei relativi costi di trasporto

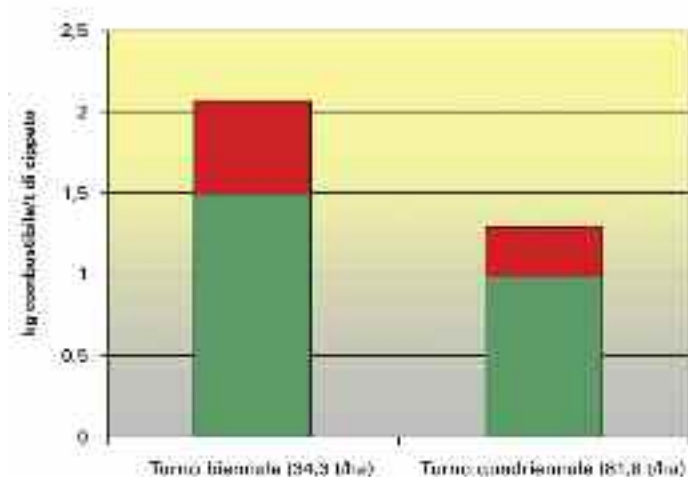



Fig. 4 - Classi dimensionali del cippato raccolto con l'operatrice RT 500

Cantiere dimostrativo di San Piero a Grado - Pisa: SRF di pioppo VI anno dall'impianto, turno di ceduazione biennale (R6F2)

CARATTERISTICHE STAZIONALI	
Comune	Pisa
Località	San Piero a Grado
Superficie del cantiere	1,3 ha
Giacitura	pianeggiante
Tipologia di impianto	Short Rotation Forestry con turno di ceduazione biennale
Anno d'impianto	2000
Specie coltivata	Pioppo, clone Lux
Densità	circa 3.500 ceppaie/ha; interfila 2 metri

FALCIACIPPACARICATRICE SPAPPERI RT 500 C	
Operatrice impiegata per la raccolta	• Falciacippacaricatrice Spapperi RT 500 C Opera con unico passaggio per taglio, cippatura e carico del legname cippato
	• Trattrice 4RM New Holland mod. 165 TM
Trasporto	• Trattrice 4RM New Holland mod. 135 TM
	• Trattrice FIAT 980 DT
Prodotto raccolto	34,3 t/ha (17,5 t/ha di sostanza secca)
Materiale legnoso ottenuto	Cippato di pioppo (Ø medio 25 mm) con umidità al 49%

Rendimento operativo	94%
Capacità operativa	0,35 ha/h
Produzione oraria operativa	12,0 t/h
Produzione raccolta di sostanza fresca per ha	34,3 t/ha
Consumo orario combustibile	18,2 kg/h
Consumo di combustibile per ettaro	51,3 kg/ha
Consumo della macchina per t di prodotto raccolto	1,49 kg/t
Consumo del cantiere per t di prodotto raccolto	2,06 kg/t
Valore a nuovo	90.000 €
Operatività annua	800 h/anno
Produttività cantiere	12 t/h
Numero operatori richiesti	3 operatori: 1 operatore specializzato addetto alla guida della raccoglitrice + 2 operatori qualificati addetti alla guida delle trattrici con rimorchio
Consumo carburanti per la raccolta (escluso trasporti)	1,49 kg/t di sostanza fresca raccolta

TRATTRICE NEW HOLLAND 165 TM	
Potenza nominale	121 kW
Produzione oraria operativa	12,0 t/h
Consumo della macchina per t di prodotto raccolto	1,49 kg/t
Costo operatore	1,24 €/t
Costo gasolio	1,19 €/t
Ammortamento macchina	0,47 €/t
Manutenzione macchina	0,12 €/t
Ammortamento trattore	0,47 €/t
Manutenzione trattore	0,13 €/t
Costo totale della raccolta	3,62 €/t
Costo operatori	2,16 €/t
Costo gasolio	0,46 €/t
Ammortamento trattori e carri	0,78 €/t
Manutenzione trattori	0,25 €/t
Costo complessivo dei carri	3,65 €/t
Costo complessivo dei cantieri	*7,27 €/t*

L'operatrice è stata testata su impianti di SRF di pioppo (clone Lux) messi a dimora nel 2000 e sottoposti a precedenti ceduazioni nell'inverno 2002 e nell'inverno 2004. Le piante erano disposte in fila singola con un interfila di 2 m e una distanza sulla fila originariamente di 0,5 m (investimento 10.000 piante/ha). Al momento della raccolta l'impianto aveva una densità scesa intorno alle 3.500 piante/ha contro le 10.000 iniziali. Il materiale legnoso al momento della raccolta presentava un tenore in umidità pari a circa il 49%.

Il diametro basale delle piante raggiungeva valori pari a circa 7 cm; in esperienze condotte su impianti a turno quadriennale, la medesima macchina si è dimostrata in grado di operare il taglio di polloni con diametri pari a 12 cm. I polloni avevano un'altezza media di 4,20 m anche se la macchina può agevolmente operare su piante con altezze superiori ai 10 m. L'operatrice, azionata dalla presa di potenza, è stata accoppiata a una trattrice 4 RM con potenza pari a 121 kW (165 CV). La trattrice accoppiata alla falciacippacaricatrice, che procede a cavallo della fila da raccogliere, è stata affiancata nelle operazioni di raccolta da altre due trattrici (da 72 e 99 kW) per il traino dei carrelli dedicati al trasporto del materiale raccolto. Durante le operazioni di raccolta l'operatrice RT 500 viene affiancata dal carro rimorchio, entro il quale viene "lanciato" il materiale cippato. Il rimorchio una volta raggiunta la sua capacità di carico è stato inviato al sito di stoccaggio e sostituito da altro rimorchio, che seguiva il primo, per garantire la necessaria continuità delle operazioni di raccolta.

Al fine di agevolare le operazioni di raccolta e in particolare le voltate, al momento dell'impianto sono stati lasciati liberi i 10 metri a entrambe le estremità del campo. La predisposizione di una corsia libera per il transito del rimorchio, necessario quando si opera il taglio della prima fila e la presenza di adeguati spazi di manovra in testata, rappresentano due elementi da prendere in considerazione al momento dell'impianto della SRF al fine di non incontrare problemi nelle operazioni di raccolta realizzate con questa operatrice.

Per l'espletamento dell'intero cantiere sono state necessarie 3 unità di personale: 1 operatore specializzato per la guida della trattrice accoppiata alla falciacippacaricatrice e 2 operatori qualificati adibiti al traino dei rimorchi per il trasporto del cippato presso il sito di stoccaggio.

Il materiale ottenuto mostra una discreta omogeneità dimensionale anche se l'elevata umidità del prodotto finale può comportare l'insorgenza di fenomeni fermentativi che causano perdite di circa il 20-30% della biomassa raccolta.

LA FALCIAPEZZACARICATRICE

L'operatrice impiegata in questo secondo caso si presenta del tutto analoga per caratteristiche costruttive alla macchina descritta nel paragrafo precedente.

A differenza dell'operatrice precedente, questo secondo modello provvede alla frammentazione del materiale legnoso in "tronchetti" di lunghezza mediamente oscillante intorno ai 22 cm. Il diagramma di flusso del materiale ottenuto dalla raccolta con questa operatrice è riportato nella *fig. 5*.

Il materiale così raccolto e accumulato sembra si presti meglio alla conservazione per periodi prolungati, consentendo una graduale perdita di umidità del prodotto e limitando nel contempo (anche grazie alla minor superficie esposta) la comparsa dei fenomeni fermentativi che si instaurano solitamente sul materiale cippato umido causando perdite di sostanza secca valutate tra il 20 e il 30%.

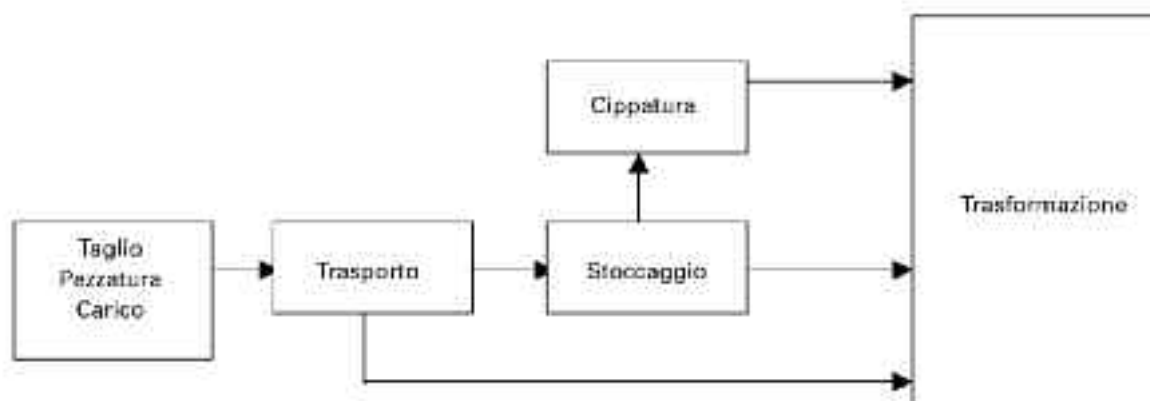



Fig. 5 - Diagramma di flusso del materiale ottenuto dalla raccolta con la falciapezzacaricatrice

Cantiere dimostrativo di San Piero a Grado - Pisa: SRF di pioppo VI anno dall'impianto, turno di ceduazione biennale (R6F2)

CARATTERISTICHE STAZIONALI	
Comune	Pisa
Località	San Piero a Grado
Superficie del cantiere	1,3 ha
Giacitura	pianeggiante
Tipologia di impianto	Short Rotation Forestry con turno di ceduazione biennale
Anno d'impianto	2000
Specie coltivata	Pioppo, clone Lux
Densità	circa 3.500 ceppaie/ha; interfila 2 metri

FALCIAPEZZACARICATRICE SPAPPERI RT 500 C	
Operatrice impiegata per la raccolta	• Falciapezzacaricatrice Spapperi RT 500C Opera con unico passaggio per taglio, pezzatura e il carico del legname cippato
	• Trattrice 4RM New Holland mod. TM 165
Trasporto	• Trattrice 4RM New Holland mod. 135 TM
	• Trattrice FIAT 980 DT
Prodotto raccolto	37,9 t/ha (19,3 t/ha di sostanza secca)
Materiale legnoso ottenuto	Tronchetti di pioppo (lunghezza media 22,2 cm) con umidità al 49%

Rendimento operativo	90%
Capacità operativa	0,54 ha/h
Produzione oraria operativa	20,5 t/h
Produzione raccolta di sostanza fresca per ha	37,9 t/ha
Consumo orario combustibile	11,2 kg/h
Consumo di combustibile per ettaro	20,6 kg/ha
Consumo della macchina per t di prodotto raccolto	0,54 kg/t
Consumo del cantiere per t di prodotto raccolto	0,81 kg/t
Valore a nuovo	90.000 €
Operatività annua	800 h/anno
Produttività cantiere	20,5 t/h
Numero operatori richiesti	3 operatori: 1 addetto specializzato alla guida della raccoglitrice + 2 addetti qualificati alla guida delle trattrici con rimorchio
Consumo carburanti per la raccolta (escluso trasporti)	0,54 kg/t

TRATTRICE NEW HOLLAND 165 TM	
Potenza nominale	121 kW
Produzione oraria operativa	20,5 t/h
Consumo della macchina per t di prodotto raccolto	0,54 kg/t
Costo operatore	0,73 €/t
Costo gasolio	0,43 €/t
Ammortamento macchina	0,27 €/t
Manutenzione macchina	0,07 €/t
Ammortamento trattore	0,27 €/t
Manutenzione trattore	0,07 €/t
Costo totale della raccolta	1,84 €/t
Costo operatori	1,27 €/t
Costo gasolio	0,21 €/t
Ammortamento trattori e carri	0,45 €/t
Manutenzione trattori	0,14 €/t
Costo complessivo dei carri	2,07 €/t
Costo complessivo dei cantieri	*3,91 €/t*

Tab. 4 - Principali caratteristiche operative dei cantieri di raccolta realizzati con la cippatrice e con la pezzatrice

		Cippatrice	*Pezzatrice*
Sesto d'impianto all'origine		2,0 x 0,5 m	2,0 x 0,5 m
Trattrice New Holland 165 TM			
Potenza nominale	kW	121	121
Tempo operativo	h/ha	2,82	1,84
Rendimento operativo	%	94	90
Velocità di lavoro	km/h	1,89	3,01
Capacità operativa	ha/h	0,35	0,54
Produzione oraria operativa	t/h	12,0	20,5
Produzione raccolta per ha	t/ha	34,3	37,9
Consumo orario combustibile	kg/h	18,2	11,2
Consumo per ha combustibile	kg/ha	51,3	20,6
Consumo della macchina per t di prodotto raccolto	kg/t	1,49	0,54
Consumo del cantiere per t di prodotto raccolto	kg/t	2,06	0,81

La macchina in questo caso ha operato a velocità notevolmente più sostenute rispetto alla più onerosa operazione di falciacippatura. A parità di tipologia d'impianto (sesto d'impianto, clone e produzione potenziale), infatti, l'operazione di riduzione della biomassa in tronchetti ha consentito velocità di avanzamento prossime ai 3 km/h con incrementi della capacità operativa di circa il 55% rispetto alla falciacippatrice. Pertanto nel caso della pezzatrice, a parità di condizioni iniziali la produzione media oraria della raccolta può raggiungere le circa 20 t/h contro le 12 t/h dell'operatrice destinata alla cippatura.

Le considerazioni fatte in precedenza relativamente alla presenza di una corsia in grado di garantire il transito della trattrice che traina il rimorchio per il carico del materiale raccolto e la necessità di disporre di ampi spazi in corrispondenza delle testate dei campi per agevolare le manovre di voltata, valgono anche per questa operatrice (*tab. 4*).

La falciapezzacaricatrice RT 500 utilizzata nell'ambito dei cantieri, rappresenta una delle possibili soluzioni per la raccolta delle SRF con turno di ceduazione superiore all'anno, in grado di ovviare parzialmente ai fenomeni fermentativi che coinvolgono il cippato legnoso a elevato tenore idrico.

L'operatrice è stata testata su impianti di SRF di pioppo (clone Lux) messi a dimora nel 2000 e sottoposti a precedenti ceduazioni nell'inverno 2002 e nell'inverno 2004. Le piante erano disposte in fila singola con un interfila di 2 m e una distanza sulla fila originariamente di 0,5 m (investimento 10.000 piante/ha). Al momento della raccolta l'impianto aveva una densità scesa intorno alle 3.500 piante/ha contro le 10.000 iniziali. Il diametro basale delle piante raggiungeva nell'impianto diametri basali pari a circa 7 cm. Le piante ceduate presentavano polloni con altezza media di 4,20 m.

L'operatrice, azionata dalla presa di potenza, è stata accoppiata a una trattrice 4 RM con potenza pari a 121 kW (165 CV). La trattrice accoppiata alla falciapezzatrice, che procede a cavallo della fila da raccogliere, è stata affiancata nelle operazioni di raccolta da altre due trattrici (da 72 e 99 kW) trainanti i carrelli per il trasporto del materiale pezzato.

Durante le operazioni di raccolta l'operatrice RT 500 viene affiancata dal carro rimorchio, entro il quale viene 'lanciato' il materiale 'pezzato'. Il rimorchio una volta raggiunta la sua capacità di carico è stato inviato al sito di stoccaggio e sostituito da altro rimorchio, che seguiva il primo, per garantire la necessaria continuità delle operazioni di raccolta.

Per quanto riguarda gli altri aspetti del cantiere non specificati, vale quanto già indicato per l'impiego della falciacippacaricatrice.

5. I combustibili legnosi

Eliseo Antonini, Annalisa Paniz - AIEL Associazione Italiana Energie Agroforestali

I combustibili legnosi tal quali

Le caratteristiche dei combustibili legnosi tal quali si riassumono nelle tabelle che seguono.

Legna da ardere

La normativa di riferimento per la legna da ardere è la UNI CEN/TS 14961:2005 (*tab. 1*).

Per le tre classi di legna da ardere è prescritto un contenuto di ceneri ≤ 2% in peso sulla sostanza secca (*tab. 2*). La legna da ardere è un combustibile legnoso con un'ampia diffusione in Italia; le dimensioni tipiche sono di norma comprese tra i 50 e i 33 cm di lunghezza e un diametro medio di 8-15 cm.

Tab. 1 - Classificazione della legna da ardere in base alla normativa CEN/TS 14961:2005

Origine e provenienza	Tronchi di conifera e latifoglia
Tipologia commerciale	Legna da ardere
Dimensione o Pezzatura	
Lunghezza (L)	P200- L < 200 e D < 20 (legnetti da accensione)
Spessore (D) (Ø max del singolo pezzo)	P200 L = 200 ± 20 e 40 ≤ D ≤ 150 mm
	P250 L = 250 ± 20 e 40 ≤ D ≤ 150 mm
	P330 L = 330 ± 20 e 40 ≤ D ≤ 160 mm
	P500 L = 500 ± 40 e 60 ≤ D ≤ 250 mm
	P1000 L = 1000 ± 50 e 60 ≤ D ≤ 350 mm
	P1000+ L > 1000 (indicare lunghezza e diametro reali)
Contenuto idrico (M o W)	M20 ≤ 20% pronta all'uso
	M30 ≤ 30% stagionata al coperto
	M40 ≤ 40% stagionata in bosco
	M65 ≤ 65% legno fresco (appena tagliato in bosco)
Tipo di legno (composizione)	Indicare la specie legnosa o se si tratta di legno di latifoglie o di conifere o loro miscuglio.

Tab. 2 - Parametri energetici indicativi della legna da ardere

Classi	*Unità di misura*	*Valori*	
Massa volumica	kg/mc	600-800	Metro cubo pieno o tondo
Contenuto idrico (W)	%	20	
Potere Calorifico Inferiore	kWh/kg	4	
Densità energetica	kWh/msa (spacconi)	1700-2250	Prima della conversione energetica
	kWh/msa (da stufa)	2040-2700	
	kWh/msr (da stufa)	1200-1600	
Ceneri	% (peso anidro)	1-2	

Legna da ardere

Legno cippato

Cippato di legno

Le principali caratteristiche qualitative del cippato di legno a uso energetico sono: pezzatura, contenuto idrico, ceneri.

Esse determinano, singolarmente o nel loro insieme, l'idoneità del cippato alla movimentazione automatizzata in caldaia, nonché la combustione raffinata con stabili ed elevati rendimenti di conversione energetica. In particolare il contenuto energetico, carattere essenziale di un combustibile, dipende molto, nel caso dei combustibili legnosi, dal suo contenuto idrico. Questo influenza, riducendolo, il potere calorifico utile agli scopi desiderati del legno.

La caratterizzazione qualitativa del cippato è definita dalla norma Uni Cen/ts 14961:2005 (*tab. 3*).

Alcune equivalenze possono essere così riassunte:

- 1 kg gasolio ± 3,0 kg di legno (M35%)
- 1 l gasolio ± 2,5 kg di legno (M35%)
- 1 mc metano ± 2,5 kg di legno (M35%).

Modalità di commercializzazione del cippato sulla base del suo contenuto energetico

Il potere calorifico inferiore del legno (MWh/t) è, a parità di contenuto idrico (M o W), pressoché uguale per le diverse specie legnose. Quindi, determinando il peso e il contenuto idrico del carico con metodi oggettivi, è possibile quantificare il valore energetico (€/MWh) del carico di cippato acquistato.

La *tab. 6* propone un esempio di fatturazione

Tab. 3 - Classi dimensionali del cippato secondo la norma Uni Cen/ts 14961

Classi dimensionali (mm)	*Composizione granulometrica percentuale*		
	Frazione principale (> 80%)	*Frazione fine (< 5%)*	*Frazione grossolana (< 1%)*
P16	3,15 ≤ P ≤ 16	< 1	> 45
P45	3,15 ≤ P ≤ 45	< 1	> 63
P63	3,15 ≤ P ≤ 63	< 1	> 100
P100	3,15 ≤ P ≤ 100		> 200

Tab. 4 - Parametri energetici indicativi del cippato

Classi	*Unità di misura*	*Valori*	
Massa sterica	kg/msr	220-330	È legata alla specie legnosa e alla sua massa volumica
Contenuto idrico (M)	%	30	
Potere Calorifico Inferiore	kWh/kg	3,4	Prima della conversione energetica
Densità energetica	kWh/msr	750-1120	
Ceneri	% (peso anidro)	0,1-1	

Tab. 5 - Comparazione tra i prezzi dell'energia primaria dei combustibili legnosi*

Tipologia di combustibile	*MWh*	*Prezzo (IVA escl.)*		*Rapporto***
		€	*€/MWh*	
1 t cippato (M30)	3,40	85	25	1,00
1 t cippato (M40)	2,81	70	25	1,00
1 t legna da ardere (M25)	3,69	130	35	1,40
1 t gasolio per serre	11,67	644	55,19	2,20
100 mc di metano servito a uso domestico	1	70	70	2,80
1 t pellet di legno (M10), sfuso, in sacchi da 15 kg	4,7	170-200	36-43	1,44 - 1,72
1 t briquette di legno (M10)	4,7	210	44	1,76
1000 litri di GPL	6,82	1.131	166	6,63

* Dati 2008. ** Si è posto uguale a 1 il valore del cippato e posto a confronto il costo dell'energia.

Tab. 6 - Esempio di griglia di prezzi ponderali del cippato a partire dal prezzo dell'energia*

Prezzo base €/MWh 24,5		*€/t*	
Classi	*%*	*IVA esclusa*	*IVA inclusa*
M20	15-20	€ 100,93	€ 111,02
M25	21-25	€ 93,10	€ 102,40
M30	26-30	€ 85,97	€ 94,57
M35	31-35	€ 78,85	€ 86,73
M40	36-40	€ 71,73	€ 78,90
M50	41-50	€ 61,04	€ 67,15
M60	51-60	€ 46,80	€ 51,47

* Dati 2007.

ponderale del cippato a partire da un prezzo energetico base (fisso) stabilito preliminarmente dalle parti. Nella stessa *tab. 6* si fornisce un esempio di prezzo ponderale del cippato per classe di contenuto idrico, riferito a un prezzo base del suo contenuto energetico di 24,5 €/MWh. Le parti concordano un prezzo base dell'energia (€/MWh) e su questa base determinano il prezzo ponderale delle varie classi riportate nella *tab. 6*.

Il mercato del legno cippato in Italia

Attualmente il mercato del legno cippato in Italia, che ha tutte le caratteristiche di un mercato di neoformazione, presenta notevoli elementi di complessità e disomogeneità territoriale.

- In alcune regioni e aree sono presenti forti condizioni di competizione tra la destinazione a uso energetico e altri impieghi, quali quello dell'industria dei pannelli e della produzione di paste a uso cartario.

- Il cippato è caratterizzato da costi di produzione molto disomogenei. Agli estremi vi è il caso del legno cippato proveniente da boschi impervi con costi di produzione molto elevati e, al caso opposto, materiale di scarto o di risulta che è destinato alla centrale elettrica, la quale effettua un "servizio di ritiro" del materiale senza onere o ricevendo talvolta per questa attività un compenso.

- Notevole diversificazione delle categorie di utilizzatori finali, con diverse propensioni di spesa. La "disponibilità a pagare" per l'acquisto di cippato è, infatti, ben diversa tra i diversi settori energetici. Nel periodo 2004-2006 sono stati rilevati (spot) prezzi di mercato nel *range* di 0-23 €/msr. In termini ponderali il prezzo varia tra 35-80 €/t (franco consegna), differenziandosi essenzialmente in funzione del suo contenuto idrico.

- Mancanza di forme contrattuali standardizzate che definiscano il prezzo del cippato sulla base del suo contenuto energetico, esattamente valutabile in base al peso e al contenuto idrico. Solo recentemente sono state avviate esperienze concrete di compravendita di cippato su base contrattuale, tenendo conto del suo contenuto energetico. Tut-

Produzione di legno cippato

tavia, ancora oggi il cippato è venduto prevalentemente a volume (msr); rimane pertanto insoluto l'aspetto critico che il materiale acquistato al minor prezzo non necessariamente corrisponde a un minor costo dell'energia termica ricavabile.

Cenni sugli operatori della filiera del cippato in Italia

Attualmente la filiera del cippato è rappresentata da un insieme di operatori che idealmente si possono raggruppare nelle seguenti categorie.

1. *Autoconsumatori artigianali/industriali:* coloro che producono e impiegano "scarti" legnosi. È la via prevalente con cui l'industria del legno utilizza gli scarti della lavorazione, impiegandoli internamente per il riscaldamento degli edifici industriali e/o a supporto dei processi produttivi, specialmente per l'essiccazione del tondame e/o del tavolame.

2. *Autoconsumatori agricolo-forestali:* sono le aziende agroforestali e/o agrituristiche che usano il materiale legnoso ricavabile da boschi o da superfici coltivate di proprietà, in forma singola e/o associata. È una forma di autoconsumo, che in buona parte sfugge alla rilevazione statistica, ma non per questo trascurabile, considerato anche il suo grado di diffusione.

3. *Produttori commerciali nazionali:* coloro che producono il cippato quale prodotto principale e/o secondario delle proprie attività. Questa categoria è rappresentata principalmente dalle industrie di lavorazione del legno, che dispongono di scarti legnosi in eccesso rispetto alla quota di autoconsumo, dalle ditte boschive che utilizzano soprassuoli forestali di proprietà o in appalto, da ditte contoterziste che dispongono o acquistano materia prima da trasformare e, infine, dalle aziende (pubbliche e private) che praticano la gestione e lo smaltimento dei rifiuti legnosi in ambito urbano e periurbano.

4. *Operatori commerciali internazionali:* le imprese che organizzano le attività di reperimento, trasporto e consegna del cippato; il ruolo di tali imprese che operano sul mercato internazionale sta diventando sempre più significativo con lo sviluppo degli impianti di medie e grandi dimensioni per la produzione di energia elettrica.

5. *Utilizzatori:* coloro che per il rifornimento del cippato si rivolgono interamente al mercato. Sono in via prevalente gli impianti di teleriscaldamento di media e grande potenza, localizzati prevalentemente nelle regioni dell'arco alpino, gli impianti di cogenerazione e le centrali elettriche.

Si sta inoltre sviluppando, come già accennato in precedenza (cfr. *2. La filiera legno-energia*), il modello della vendita dell'energia termica a un'utenza terza (*contracting*) a opera, in particolare, delle aziende agricole, dei piccoli proprietari di bosco o in generale di operatori che dispongono di determinati quantitativi di cippato. Si verifica pertanto che il produttore di cippato, non vende la parte in esubero del proprio combustibile, ma la utilizza per la produzione e la vendita dell'energia, conseguendo una maggiore remunerazione.

I COMBUSTIBILI LEGNOSI DENSIFICATI

IL PELLET

Il pellet di legno è un combustibile densificato, di forma cilindrica, derivante da un processo industriale attraverso il quale la materia prima, con contenuto idrico (W) compreso fra l'11 e il 14%, viene trasformata in piccoli cilindri con diametro variabile da 6 a 8 mm e lunghezza di 10-30 mm.

Il pellet di legno deve essere prodotto da legno vergine non contaminato, così come stabilito dal D.lgs. n. 152/2006.

La materia prima è rappresentata principalmente da segatura, trucioli e altri scarti di segheria. Il pellet è, quindi, un combustibile di origine industriale, derivante dai comparti di prima e seconda lavorazione del legno.

Come si produce il pellet

Il materiale sciolto viene immesso nella cavità di pellettatura, un pressore rotante lo forza attraverso degli stampi forati, comprimendolo in pellet. Successivamente delle lame tagliano il combustibile della lunghezza desiderata. Nel corso di questa fase si raggiungono elevate temperature (90-95°C) che determinano il parziale ammollimento dei costituenti della matrice legnosa, in modo specifico della lignina, che fondendosi funzionano da collante naturale.

La fase successiva è quella di raffreddamento, con la quale avviene un'ulteriore essiccazione del combustibile e la separazione delle parti fini.

Schematicamente le fasi principali sono:

- pre-trattamento della materia prima al fine di renderla omogenea in termini di granulometria e umidità. Tale fase può consistere, a sua volta, in una serie di operazioni quali: raffinamento, essiccazione, condizionamento e separazione dei metalli;
- pressatura della materia prima legnosa in *matrici forate* dette *trafile*;
- raffreddamento del combustibile;
- separazione delle parti fini;
- imballaggio e immagazzinamento.

Il consumo energetico necessario alla produzione del pellet dipende da molteplici fattori; esso è strettamente correlato alle fasi del processo produttivo adottate e al tipo di energia impiegata.

Il mercato del pellet in Italia

Attualmente operano sul mercato circa 90 aziende produttrici. La collocazione geografica della produzione costituisce un dato interessante. Il 60% delle aziende è situato nel Nord Italia, con una produzione pari a circa il 73% del totale. Lombardia, Veneto e Friuli Venezia Giulia coprono circa il 60% della produzione nazionale.

Impianto di pellettizzazione

Particolare della trafila di una pellettizzatrice

Per l'anno 2008 la produzione di pellet è stata stimata essere pari a 700.000 tonnellate. L'intera produzione nazionale viene impiegata internamente ma non è, tuttavia, sufficiente a far fronte all'elevata domanda, che viene parzialmente soddisfatta

da pellet di produzione estera. La quota di pellet importato da altri paesi non è definibile con certezza, a causa del fatto che i canali di importazione sono numerosi e fortemente diversificati. Per l'anno 2008 il quantitativo di pellet importato dalla sola Austria è stato pari a circa 240.000 tonnellate.

Attualmente le materie prime principalmente impiegate nel processo produttivo sono segatura, trucioli e altri scarti di segheria, che complessivamente rappresentano oltre l'80% del materiale utilizzato.

La quasi totalità del pellet commercializzato nel nostro paese è confezionato in piccoli sacchi. Infatti, i principali consumatori sono le piccole utenze private, che impiegano questo combustibile prevalentemente in stufe e in caldaie per il riscaldamento domestico centralizzato.

La qualità del combustibile

In un mercato come quello del pellet, caratterizzato da elementi di diversificazione in termini sia di caratteristiche del prodotto, sia di sistemi di utilizzazione, la garanzia della qualità rappresenta un elemento determinante per il rafforzamento del mercato e necessita di regole certe e condivise, al fine di assicurare il raggiungimento del livello qualitativo richiesto dal mercato e dai consumatori.

Su questi principi si basa *Pellet Gold*, un sistema di attestazione della qualità al di sopra delle parti, basato su precise regole di funzionamento, tali da garantire che il prodotto soddisfi i requisiti indicati nei documenti di riferimento. Si basa sulla specifica tecnica europea UNI CEN/TS 14961:2005, sulle norme DIN*plus* e ÖNORM M 7135 e sui limiti introdotti dal *Pellet Fuel Institut* (PFI) americano (*tab. 7*).

Un elemento ulteriore, non presente in nessun altro sistema di certificazione, è il contenuto di formaldeide (HCHO); fondamentale per poter verificare l'eventuale presenza di materiali in combustione potenzialmente pericolosi per la salute, quali colle e vernici.

Per ottenere l'attestazione il combustibile deve rispondere alle prove di tipo iniziali (vedi *Disciplinare Pellet Gold*), ai requisiti stabiliti dall'Associazione Italiana Energie Agroforestali (AIEL) e descritti nelle regole particolari, applicati al prodotto da certificare e il produttore deve fornire ad AIEL tutti i criteri per poter prelevare un campione rappresentativo della produzione che intende certificare.

L'iter si esplica con una visita ispettiva iniziale non annunciata durante la quale vengono accertati:

- il controllo dei processi produttivi da parte dell'azienda;
- l'effettiva idoneità del sistema di controllo sui prodotti

In occasione di tale visita si effettua il prelievo di campioni di combustibile per il quale è stata richiesta l'attestazione. La scelta dei campioni, da sottoporre alle prove di tipo iniziali, deve essere rappresentativa dell'intera produzione e deve avvenire in maniera casuale. Se nel corso della verifica ispettiva non sono state rilevate situazioni di non conformità, sui campioni prelevati, un laboratorio esegue le analisi così come stabilito dalle normative di riferimento, specificate nel documento relativo.

Al fine di mantenere l'attestazione, il produttore è obbligato a sottoporre il pellet a una serie di accertamenti interni. Tali accertamenti, effettuati da personale qualificato, devono avvenire almeno una volta al mese e riguardare:

- contenuto idrico
- durabilità meccanica
- contenuto di ceneri.

Oltre a ciò AIEL attua, almeno una volta all'anno, delle verifiche ispettive di sorveglianza presso le sedi produttive dell'azienda, per controllare che i requisiti indicati nel regolamento siano soddisfatti. La prima verifica di sorveglianza ha luogo a circa sei mesi dalla data di concessione del marchio.

Il sistema di attestazione *Pellet Gold* costituisce un investimento per l'azienda, garantendo una migliore gestione e qualificazione della stessa; so-

Tab. 7 - Limiti di accettabilità dell'attestazione *Pellet Gold*

Parametro	*Unità di misura*	*AIEL*
Contenuto idrico	% s.u.	< 10
Ceneri	% s.s.	≤ 1
Potere calorifico inferiore	MJ/kg	≥ 16,9
Azoto (N)	% s.s.	≤ 0,3
Cloro (Cl)	% s.s.	< 0,03
Zolfo (S)	% s.s.	< 0,05
Arsenico (As)	mg/kg	< 0,8
Cadmio (Cd)	mg/kg	< 0,5
Cromo (Cr)	mg/kg	< 8
Rame (Cu)	mg/kg	< 5
Mercurio (Hg)	mg/kg	< 0,05
Piombo (Pb)	mg/kg	< 10
Zinco (Zn)	mg/kg	< 100
Sodio (Na)	% s.s.	< 0,03
Massa sterica	kg/mc	> 600
Massa volumica	g/cmc	> 1,15
Durabilità meccanica	%	≥ 97,7
Formaldeide (HCHO)	mg/100 g	Indicare valore
Agenti leganti	%*	≤2

* Leganti di origine naturale così come stabilito dalla specifica tecnica europea.

Tab. 8 - Caratterizzazione del pellet ottenuto da potature di olivo e vite

Parametro	*Unità di misura*	*Pellet di vite*	*Pellet di olivo*	*Pellet Gold*
Contenuto idrico	% s.u.	8,39	6,51	< 10
Ceneri	% s.s.	2,57	4,07	≤ 1
Potere calorifico inferiore	MJ/kg	16,5	17,1	≥ 16,9
Azoto (N)	% s.s.	0,39	0,75	≤ 0,3
Cloro (Cl)	% s.s.	0,02	0,02	< 0,03
Zolfo (S)	% s.s.	0,02	0,01	< 0,05
Arsenico (As)	mg/kg	0,09	< 0,05	< 0,8
Cadmio (Cd)	mg/kg	< 0,1	0,2	< 0,5
Cromo (Cr)	mg/kg	1,7	4,4	< 8
Rame (Cu)	mg/kg	18	4,5	< 5
Mercurio (Hg)	mg/kg	< 0,01	< 0,05	< 0,05
Piombo (Pb)	mg/kg	1,8	10,7	< 10
Zinco (Zn)	mg/kg	24,7	56,1	< 100
Sodio (Na)	% s.s.	0,006	0,35	< 0,03
Densità apparente	kg/mc	627	629	> 600
Durabilità meccanica	%	98	99,2	≥ 97,7
Formaldeide (HCHO)	mg/100 g	—	0,6	Indicare valore
Agenti leganti	%*	—	—	≤2

* Leganti di origine naturale così come stabilito dalla specifica tecnica europea.

prattutto può essere considerato uno strumento di trasparenza, informazione e garanzia esterna.

L'attestazione di qualità offre, quindi, un potenziale vantaggio competitivo sul mercato, ma rappresenta anche uno strumento per gestire in trasparenza l'attività aziendale, adottando un percorso di miglioramento continuo del prodotto offerto al consumatore.

Il pellet dalle potature

Uno dei principali obiettivi del progetto Woodland Energy, oltre a quello di illustrare agli operatori alcuni sistemi razionali di gestione e utilizzo delle biomasse legnose agroforestali per fini energetici, è stato quello di definire le concrete possibilità di impiego di determinati combustibili legnosi ottenibili da tali biomasse.

Fra le biomasse di origine agroforestale le potature rivestono un ruolo primario, per tale motivo abbiamo eseguito le analisi chimico-fisiche e xiloenergetiche sul pellet prodotto da potature di olivo e di vite. I risultati ottenuti sono stati posti a confronto con i limiti introdotti dal disciplinare Pellet Gold (*tab. 8*).

È emerso che sia il pellet di vite sia quello di olivo sono caratterizzati da un contenuto di ceneri molto elevato, tale da renderne sconsigliabile l'impiego in piccoli impianti di riscaldamento. Inoltre, rispetto al disciplinare Pellet Gold, è evidenziabile un maggiore contenuto di rame, nel caso del pellet di vite, e di piombo e sodio, nel caso del pellet di olivo. La presenza dei due metalli pesanti e del sodio è probabilmente imputabile alla parziale permanenza della componente chimica legata ai trattamenti antiparassitari. Infine, per entrambe le tipologie di pellet, è stato rilevato un contenuto di azoto superiore al limite imposto per il pellet di legno. Il superamento del limite è di lieve entità nel caso del pellet di vite, mentre risulta più del doppio nel caso del pellet di olivo. L'elevato contenuto di azoto rilevato è imputabile all'elevata presenza di corteccia che caratterizza le potature.

Oltre all'analisi chimica ed energetica del pellet è stata effettuata l'analisi del punto di fusione delle ceneri (*tab. 9*) in ottemperanza alla norma tedesca DIN 51730, da cui è emerso, nel caso della vite, che dopo la fase iniziale di deformazione, che avviene a una temperatura di 795°C, le ceneri presentano un punto di ammollimento e fusione superiore a 1.450°C, ciò significa una formazione di scorie di fusione sulla griglia della caldaia nulla, o molto ridotta. Per il pellet di olivo risulta, invece, un punto di deformazione a 700°C e un punto di ammollimento e fusione superiore a 1.450°C. Entrambe le tipologie di pellet presentano, quindi, un comportamento molto simile a quello del legno.

Pellet da legno di vite

Tab. 9 - Risultati del punto di fusione delle ceneri per le potature di vite e di olivo

Tipo di campione	*Temperatura (°C)*	
	Pellet di vite	*Pellet di olivo*
Di deformazione	795°C	700°C
Di sfera	> 1.450°C	> 1.450°C
Di semisfera	> 1.450°C	> 1.450°C
Di colata	> 1.450°C	> 1.450°C

Tab. 10 - Parametri di caratterizzazione delle briquette

	Unità di misura	*Valore*
Massa volumica	kg/mc	> 900
Contenuto idrico (W)	%	< 15
Potere calorifico inferiore	kWh/kg	4,6-5,2
Ceneri	% (in peso)	0,5-1,5 ~

Le briquette

Le *briquette* sono comunemente prodotte dalla pressatura di diversi residui legnosi, di origine agricola e forestale; presentano una pezzatura fino a 15 cm, e un contenuto idrico (W) non superiore al 14% (*tab. 10*). I sistemi di brichettatura si distinguono in sistemi a bassa, media e alta pressione; questi ultimi attivano le forze di coesione fra le particelle evitando l'uso di sostanze leganti accessorie.

La produttività delle briquettatrici varia da 30 a 1200 kg/h. Le *briquette* hanno le dimensioni della legna per stufa e vengono comunemente impiegate negli apparecchi termici a caricamento manuale, in sostituzione della legna da ardere. Per tale motivo le dimensioni del mercato non sono facilmente individuabili. La trasformazione in *briquette* dei residui legnosi di origine agroforestale consente di conferire loro maggiore uniformità.

Alcuni riferimenti normativi sui combustibili legnosi

Uni ts 11263 - Caratterizzazione del pellet a fini energetici

Questa specifica tecnica è entrata a far parte della normativa nazionale il 27 novembre 2007 e definisce le caratteristiche del pellet a fini energetici in funzione della materia prima di origine e delle caratteristiche fisiche e chimiche del prodotto finito. Tale caratterizzazione si basa sul metodo di classificazione per il pellet definito nella norma Uni Cen/ts 14961.

Uni ts 11264 - Caratterizzazione di legna da ardere, bricchette e cippato

Questa specifica tecnica è entrata a far parte della normativa nazionale il 27 novembre 2007 e caratterizza i biocombustibili legna da ardere, bricchette e cippato, mediante l'individuazione di categorie qualitative in funzione della materia prima d'origine e delle caratteristiche fisiche e chimiche del biocombustibile. Tale caratterizzazione si basa sul metodo di classificazione per il pellet definito nella norma Uni Cen/ts 14961.

6. Moderne tecnologie per la produzione di energia termica dai combustibili legnosi

Valter Francescato - AIEL Associazione Italiana Energie Agroforestali

Il processo di combustione del legno

La combustione del legno avviene essenzialmente in tre fasi, in funzione della temperatura del processo: 1. Essiccazione, 2. Degradazione termica, 3. Combustione.

Essiccazione: l'acqua contenuta nel legno inizia a evaporare a temperature inferiori ai 100°C. L'evaporazione è un processo che usa l'energia rilasciata dal processo di combustione, pertanto abbassa la temperatura in camera di combustione, rallentando il processo di combustione. Il contenuto idrico del legno, come già indicato in precedenza, è uno dei parametri qualitativi più importanti dei combustibili legnosi perché limita l'impiego del legno nell'apparecchio termico.

Degradazione termica (pirolisi/gassificazione): dopo il processo di essiccazione, a partire da una temperatura di 200°C circa, il legno è sottoposto a una fase di degradazione termica che porta all'evaporazione della sua componente volatile. Questa componente rappresenta in termini ponderali oltre il 75% del contenuto energetico del legno.

Combustione: la combustione è una fase che inizia tra i 500 e i 600°C e si protrae fino ai 1000°C circa e consiste nella completa ossidazione dei gas. Nel *range* 800-900°C sono combusti il carbone solido e il catrame.

La regola delle 3T

La mancanza di adeguate condizioni causa la combustione incompleta del legno, con conseguente aumento delle emissioni nocive.

La combustione incompleta è causata principalmente dalle seguenti condizioni negative:

- inadeguata mescolanza tra aria e combustibile nella camera di combustione
- carenza complessiva di ossigeno disponibile
- temperatura di combustione troppo bassa
- tempi di permanenza troppo brevi del combustibile sul focolare.

Quindi, la qualità della combustione è legata a tre fattori fondamentali fortemente connessi tra di loro: *tempo, temperatura, turbolenza*.

È importante un adeguato *tempo di permanenza* del combustibile sul focolare e dei fumi caldi nella seconda zona di combustione e negli scambiatori.

La *temperatura* deve raggiungere livelli sufficientemente elevati per consentire di completare le varie fasi della combustione, specie quella di ossidazione dei gas.

Infine, è fondamentale creare un elevato grado di *turbolenza* nelle varie zone e fasi della combustione attraverso gli apporti di aria forzata (primaria, secondaria ed eventualmente terziaria).

La combustione completa è naturalmente solo un concetto teorico, specie nel caso dei combustibili solidi, in quanto è problematico raggiungere un corretto grado di mescolanza tra aria e combustibile, in un periodo di tempo così limitato. La combustione incompleta dà luogo, appunto, a un'incompleta ossidazione dei gas e a un aumento di incombusti sia organici che inorganici, con conseguente aumento del contenuto di monossido di carbonio (CO) e polveri nei fumi esausti.

Evoluzione tecnologica degli apparecchi ed emissioni

Negli ultimi trent'anni vi è stato un significativo aumento dell'efficienza nelle caldaie a legno che ha portato a una sostanziale riduzione dell'emissione di monossido di carbonio (CO) e delle altre emissioni nocive (polveri, composti organici volatili, ossidi di azoto e di zolfo).

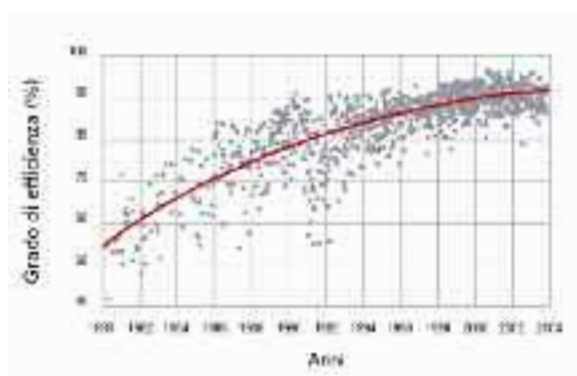



Fig. 1 - Evoluzione temporale dell'efficienza nelle caldaie a biomasse legnose: miglioramento del rendimento negli ultimi 25 anni (BLT Wieselburg, 2005)

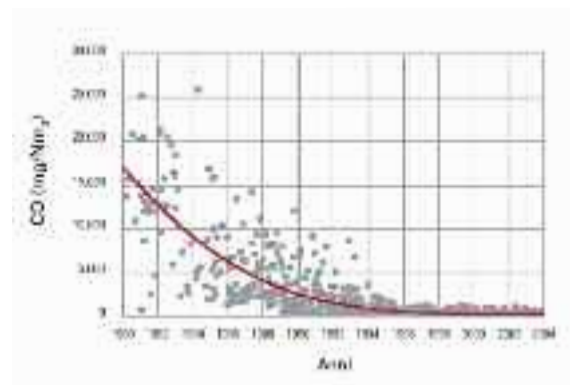



Fig. 2 - Evoluzione temporale dei livelli di emissione nelle caldaie a biomasse legnose: riduzione delle emissioni di CO negli ultimi 25 anni (BLT Wieselburg, 2005)

I due grafici delle *figg. 1-2* mostrano i risultati della lunga campagna di rilievi effettuata da *Biomass Logistics Technology* (BLT) di Wieselburg (www.blt.bmlf.gv.at), noto istituto dell'alta Austria che certifica – a scala europea – le emissioni e i rendimenti dei piccoli e medi apparecchi di combustione a legna, cippato e pellet.

Nelle *figg. 1-2* è interessante notare come negli ultimi venticinque anni vi sia stato un diffuso miglioramento delle tecniche costruttive delle caldaie, con rendimenti medi che si attestano, nel 2004 sopra l'85% e livelli di CO spesso, più o meno abbondantemente, sotto i 50 mg/mc, testimoniato anche dalla diminuzione del grado di dispersione dei dati nel tempo.

Oltre al CO, esistono una serie di altri parametri che caratterizzano la composizione dei *fumi esausti* e che possono essere usati come parametri-controllo della qualità del processo di combustione:

- la percentuale di O_2, dovrebbe essere nel *range* 5-8%
- la quantità di CO_2 dovrebbe essere quanto più prossima al valore teorico, che per il legno è 20,4%. Esiste tuttavia una forte correlazione tra O_2 e CO_2: a valori di O_2 del 5-8% corrispondono valori di CO_2 del 13-16%.
- la quantità di NO_x è legata principalmente alla temperatura, che forma i così detti NO_x termici, perciò la temperatura dovrebbe essere nel range 850-1200°C.
- infine, un parametro importante è anche la *temperatura dei fumi al camino*, che dovrebbe mantenersi sotto i 150-170°C.

Naturalmente la combustione è influenzata fortemente dalla *qualità del combustibile*, in funzione della tipologia di caldaia. In linea generale, tanto maggiore è l'uniformità della pezzatura e del contenuto idrico nel combustibile legnoso, tanto migliore sarà la combustione.

I generatori di calore

In funzione del tipo di combustibile legnoso impiegato, della potenza del generatore, del tipo di sistema di caricamento del focolare, le caldaie possono essere suddivise nelle seguenti categorie:

- caldaie a pezzi di legna di piccola taglia a caricamento manuale
- caldaie a pellet di piccola taglia a caricamento automatico
- caldaie a cippato di piccola e media taglia a griglia fissa con caricamento automatico a coclea
- caldaie a cippato di media e grande taglia a griglia mobile con caricamento automatico a coclea o spintore.

Caldaie a pezzi di legna

Le caldaie a legna a tiraggio forzato per aspirazione sono le più innovative sul piano tecnologico. I gas sono richiamati, dalla depressione forzata creata da un ventilatore a valle, nella seconda camera di combustione rivestita in refrattario. La resistenza del flusso dei gas è piuttosto elevata, perciò è necessaria la presenza di un ventilatore a tiraggio indotto a regolazione elettronica. Il ventilatore consente di modulare l'apporto d'aria primaria (generalmente pre-riscaldata) e secondaria nelle camere di combustione. Nel primo settore della canna fumaria è presente solitamente la *sonda Lambda* che misura in continuo la concentrazione di O_2 nei fumi esausti e regola di conseguenza i giri del ventilatore e, nelle caldaie automatiche, la velocità di caricamento del combustibile. La sonda Lambda è particolarmente utile nelle caldaie a legna e cippato in cui si utilizzano combustibili caratterizzati da un'ampia variabilità del contenuto idrico e del contenuto energetico. Essa consente di mantenere nel tempo un elevato livello di rendimento del proces-

Fig. 3 - Caldaia a legna
a tiraggio forzato (Guntamatic)

1. aria primaria pre-riscaldata
2. aria secondaria
3. turbo-camera di combustione
4. turbolatori verticali
5. sonda Lambda
6. ventilatore a tiraggio forzato
   e regolazione elettronica
7. pannello elettronico di comando

so di combustione e di conseguenza di minimizzare le emissioni nocive. Solitamente l'accensione delle caldaie a pezzi di legna è manuale, tuttavia nei modelli più recenti è stato inserito anche il sistema di accensione automatica.

L'accumulo inerziale

Nelle caldaie a pezzi di legna è fondamentale l'installazione di un *accumulo inerziale* o *puffer* che deve essere correttamente dimensionato in funzione di una serie di parametri termotecnici.

Il *puffer* consiste in un serbatoio termicamente ben isolato, collegato al sistema di distribuzione dell'acqua, dove viene stoccata periodicamente parte dell'energia termica espressa dalla carica di legna. Infatti, la carica di legna esprime una quantità di energia termica spesso superiore al fabbisogno giornaliero di calore, specialmente nei mesi non invernali; per evitare di disperdere nell'ambiente questa energia termica, con evidente spreco, essa può essere convogliata e stoccata nel *puffer*.

Il *puffer* consente quindi di:
- ottimizzare la combustione allungando la vita alla caldaia
- assorbire i picchi di richiesta termica
- programmare il riscaldamento degli ambienti per le prime ore del mattino e disporre di maggiori quantità di acqua sanitaria con una sola carica di legna[1]
- integrare l'impianto con un sistema solare termico, che consente di tenere spenta la caldaia d'estate.

Il dimensionamento del *puffer* dovrebbe essere effettuato secondo la formula della norma UNI EN 303-5:

$$V_{Sp} = 15 \bullet T_B \bullet Q_N \bullet (1 - 0{,}3 \bullet Q_h/Q_{min})$$

V_{Sp} Capacità del serbatoio [l]
T_B Periodo di combustione [h]
Q_N Potenza termica nominale [kW]
Q_{min} Potenza termica minima [kW]
Q_h Carico di riscaldamento medio edificio [kW]

1 Quando l'accumulo è ben dimensionato, d'estate una carica di legna può coprire il fabbisogno di acqua sanitaria per circa 4-5 giorni.

Impianto termico e puffer (Guntamatic)

Esempio: Casa monofamiliare

T_B	6 h (legno duro)
Q_N	20 kW
Q_{min}	10 kW (50% potenza nominale)
Q_h	8 kW ca. 180 mc (Edificio nuovo)

15 x 6 x 20 x (1 - 0,3 x 8/10) = 1.368
L'impianto richiede un puffer di 1.500 litri

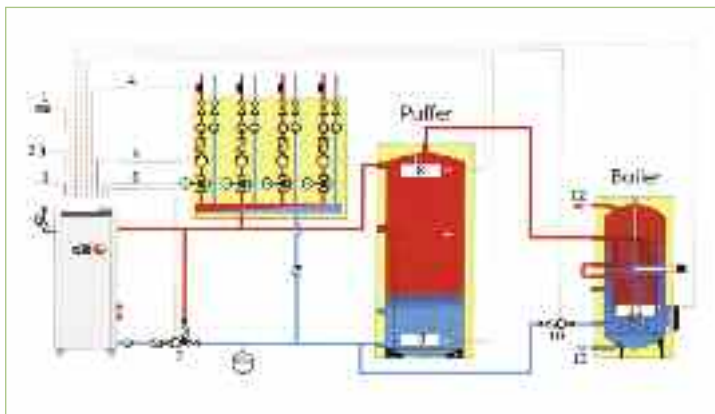



Fig. 4 - Schema di caldaia a legna (Froeling):

1. telecomando
2. sonda di temperatura esterna
3. rete elettrica 230 V
4. sensore temperatura di mandata
5. circuiti 1/2/3/4
6. miscelatrici
7. pompa 2
8. sonda 1
9. sonda 2
10. pompa 1
11. sonda 3
12. uscita acqua calda
13. ingresso acqua fredda

Nella *fig. 4* è visibile uno schema d'impianto con quattro circuiti di riscaldamento e l'applicazione di un accumulo inerziale e di un boiler separato.

Oltre all'accumulo inerziale, molto importante è la presenza di un *dispositivo idraulico anticondensa* (cfr. nello schema di *fig. 4*, il punto 7. pompa 2) nel circuito di ritorno prima dell'ingresso dell'acqua in caldaia. Un ritorno d'acqua troppo fredda in caldaia (eccessivo ΔT tra mandata e ritorno) può causare uno shock termico e pericolosi fenomeni di condensa che pregiudicano la vita utile del generatore.

Caldaie a pellet

Le caldaie a pellet, per le caratteristiche del combustibile, si prestano a essere impiegate anche in ambiente urbano e periurbano a servizio di singole abitazioni e piccoli condomini. Tipicamente, il silo a fianco del generatore, serbatoio settimanale, è rifor-

Fig. 5 - Esempio di impianto a pellet automatico con sistema di caricamento pneumatico (Ökofen). Si tratta di un sistema di aspirazione collegato a due tubi flessibili lunghi fino a 15 m

Silo a sacco

Cippatura delle potature di vite

nito automaticamente da una scorta di combustibile più grande, solitamente annuale, per mezzo di una coclea o di un sistema pneumatico. Il silo annuale è generalmente riempito con un'autocisterna.

Il *deposito annuale del pellet* ha un fondo inclinato, spesso di legno o laminato, con un'inclinazione di almeno 40°- 45° in modo tale che il pellet possa scivolarvi senza problemi. Il piano inclinato non deve essere troppo lungo e deve avere una superficie piana e liscia. Il dimensionamento del deposito può essere fatto in modo speditivo con la seguente formula:

Volume del silo in mc = 0,9 • potenza in kW

Perciò una caldaia a pellet di 15 kW necessita di un serbatoio di circa 13,5 mc. Supponendo che la stanza sia alta 2,3 m, il silo occupa una superficie di 6 mq (misure 2 x 3 x 2,3 m).

Silo a sacco

Sono adatti a essere collocati in stanze esistenti o esternamente. Si tratta di stoccaggi molto flessibili e pratici. Si montano facilmente e presentano una buona tenuta alla polvere e all'acqua. Il silo a sacco è collegato al serbatoio settimanale per mezzo di un sistema pneumatico. Esistono diverse classi dimensionali da 2,8 a 5 tonnellate.

Pellet agricolo: aspetti qualitativi e uso in caldaia

Quando il pellet è prodotto da materie prime di origine agricola la sua qualità si abbassa (cfr. capitolo *5. I combustibili legnosi*).

Come già accennato, il pellet di vite può essere impiegato esclusivamente in caldaie in grado di gestire combustibili con elevato contenuto di cenere e dotate di dispositivi per l'eliminazione delle eventuali scorie di fusione; quindi caldaie a cippato o caldaie a pellet con dotazioni tecniche appropriate (presenza di un sistema automatico di estrazione delle ceneri, griglia autopulente, mini griglia mobile ecc.) (*fig. 6*). Quando il pellet di vite è

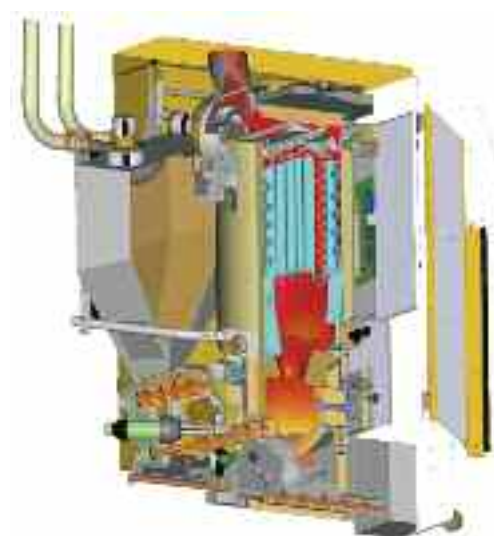



Fig. 6 - Caldaia adatta all'impiego di pellet con elevato contenuto di ceneri, dotata di griglia rotante autopulente (ETA)

Tab. 1 - Limiti di emissione della normativa italiana ed europea a confronto con i risultati ottenuti nei test di combustione del pellet di vite in caldaia a griglia mobile orizzontale da 15 kW

		D.Lgs. 152/2006		*Uni En 303-5*			*Pellet di vite*
	kW	*35-150*	*150-3000*	*fino a 50*	*50-150*	*150-300*	*(15 kW)*
Polveri totali	mg/mc	200	100	150	150	150	41-54
CO	mg/mc	350	350	3000	2500	1200	64
NO_x	mg/mc	500	500				206
SO_x	mg/mc	200	200				12

impiegato in questi apparecchi termici, le emissioni rispettano i limiti imposti dalla normativa italiana ed europea.

Nella *tab. 1* sono messi a confronto i limiti di emissione della normativa italiana ed europea con i risultati dei test di combustione condotti con una caldaia di 15 kW a griglia mobile orizzontale, sistema di rimozione automatica delle ceneri e regolazione della combustione con sonda Lambda.

Caldaie a cippato

Le caldaie a cippato si dividono in due categorie:

- le caldaie a griglia fissa
- le caldaie a griglia mobile.

Caldaie a cippato a griglia fissa

Si tratta di generatori di piccola e media potenza, orientativamente da 25 kW fino a circa 400-500 kW, impiegati dalla scala domestica fino alle minireti di teleriscaldamento.

Sono dotate di un focolare fisso alimentato in vari modi. Le caldaie più diffuse sono quelle dotate di una griglia alimentata lateralmente, dove l'aria primaria agisce sotto griglia favorendo l'essiccazione e la gassificazione del cippato, mentre l'aria secondaria opera sopra la griglia favorendo un'efficiente ossidazione dei gas.

Questo tipo di caldaie è dotato di una sonda (Lambda) in grado di riconoscere il potere calorifico del combustibile (cippato di legno duro/tenero, pellet, trucioli) regolando in automatico la velocità di carico delle coclee.

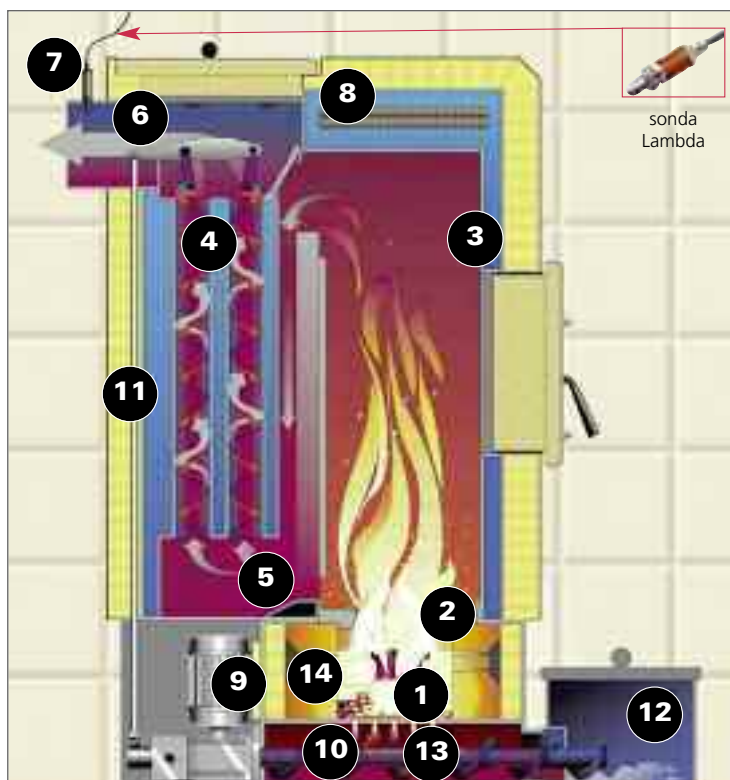
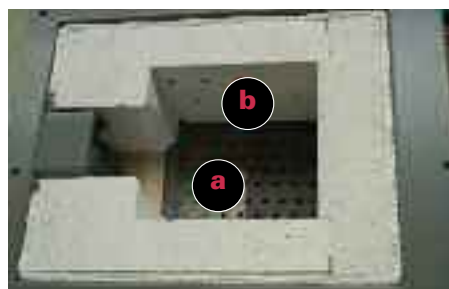



Fig. 7 - Caldaia a griglia fissa (Hargassner)

1. alimentazione laterale
2. piastra di concentrazione della fiamma
3. scambiatore
4. turbolatori
5. flusso di gas caldi
6. canna fumaria
7. sonda Lambda
8. scambiatore di sicurezza (EN 303-5)
9. motore coclee e sistema di pulizia dello scambiatore
10. coclea di asporto della cenere
11. barra di comando del sistema di pulizia dello scambiatore
12. cassetto della cenere
13. aria primaria
14. aria secondaria pre-riscaldata

Basamento di una caldaia a griglia fissa

a. Fori basali dell'aria primaria sulla griglia
b. Fori laterali dell'area secondaria sul refrattario

Silo esterno in legno adiacente al vano caldaia

Struttura mobile composta da vano tecnico e silo (Ecoenergie)

Il *deposito del cippato* è generalmente a pianta quadrata. Il cippato è estratto con sistemi a balestra o a braccio articolato. Il sistema di estrazione incanala il cippato nella coclea di trasporto collegata, per mezzo di un pozzetto di sicurezza intermedio, verso la coclea di caricamento, che porta il cippato al focolare. La serranda tagliafuoco è un dispositivo di sicurezza che in caso di ritorno di fiamma, chiude ermeticamente il pozzetto che separa la coclea di trasporto da quella di carico.

Il deposito del cippato può essere disposto in vari modi rispetto al vano tecnico della caldaia. Le soluzioni più economiche sono quelle nelle quali il deposito viene ricavato in una stanza esistente oppure quando viene creata una struttura in legno esterna, adiacente al vano tecnico su una platea in cemento.

Alcune aziende propongono inoltre unità mobili, che consistono in strutture preassemblate composte dal vano tecnico e dal silo, che si possono installare presso l'utenza in circa due giorni.

Il *dimensionamento del silo* deve garantire un periodo di autonomia invernale di almeno 20-30 giorni. Nei piccoli impianti il sistema di estrazione rotativo opera su diametri da 3 fino a 5 m. Indicativamente un impianto da 100 kW in inverno può consumare circa 2 msr/giorno, perciò un silo di 60 mc dà un'autonomia di un mese.

Il consumo giornaliero di un generatore di calore è facilmente calcolabile sulla base dei kWh erogati, del potere calorifico inferiore del legno impiegato e della sua massa sterica. Tuttavia, nei piccoli impianti, possono essere applicate, con un discreto grado di precisione, le seguenti formule speditive:

Potenza caldaia in kW x 2,5 = Consumo di cippato in msr/anno (legno tenero P45, M30)

Potenza caldaia in kW x 2,0 = Consumo di cippato in msr/anno (legno tenero P45, M30)

Le caldaie a cippato a griglia mobile

Sono generatori di potenza medio-grande da 500 kW fino ad alcuni MW, impiegati da una scala industriale fino al servizio di reti di teleriscaldamento. Nelle caldaie a griglia mobile la griglia si muove su un piano orizzontale o inclinato.

Sono caldaie adatte alla combustione di cippato umido (M > 40%) con caratteristiche dimensionali variabili ed elevato contenuto di cenere.

Recentemente il mercato propone caldaie a griglia mobile anche di piccola taglia.

Nel caso di griglia mobile a piano inclinato gli scalini si muovono in senso orizzontale avanti-indietro, spostando gradualmente in avanti il cippato lungo la griglia.

La caldaia è dotata di numerosi e complessi dispositivi che garantiscono un'omogenea distribuzione del cippato e del letto di braci sopra l'intera superficie della griglia.

Questo aspetto è particolarmente importante per garantire un apporto d'aria primaria equamente distribuita sulla superficie della griglia. Diversamente, possono crearsi scorie di fusione, un'elevata presenza di ceneri volatili, e un eccessivo apporto di ossigeno. L'avanzamento del cippato sopra la griglia deve essere il più regolare possibile per mantenere il letto di braci omogeneo, evitando così soluzioni di continuità dello stesso che potrebbero dar vita a zone di materiale incombusto.

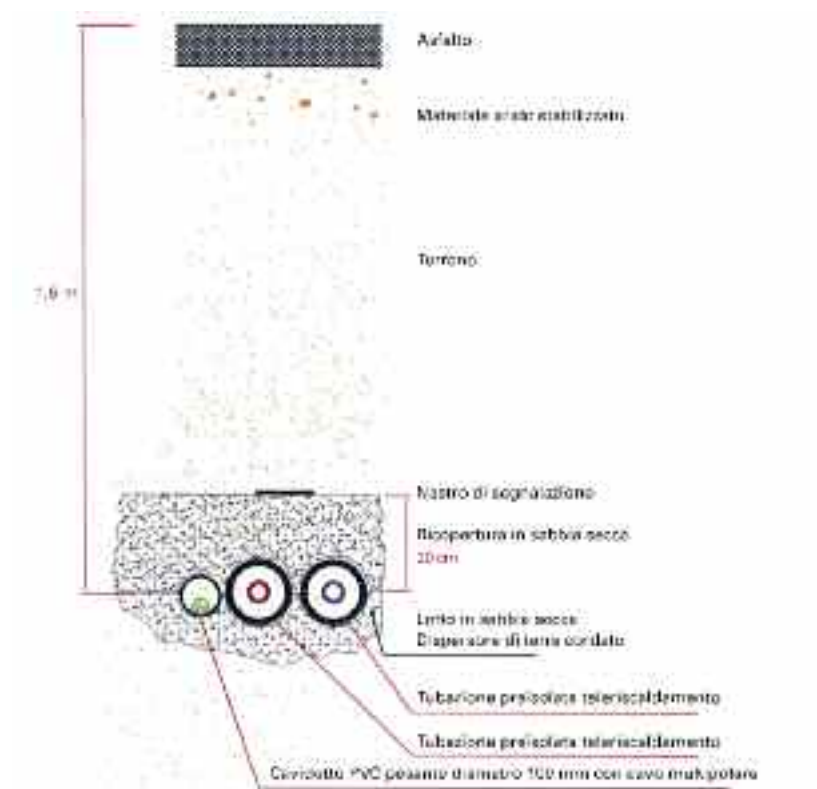
Il deposito del cippato è generalmente a pianta rettangolare con sistema di estrazione a rastrelli. Inoltre, la coclea di caricamento può essere sosti-

Fig. 8 - Caldaia a griglia mobile inclinata (Uniconfort)

Fig. 9 - Esempio di layout per una caldaia a griglia mobile di 700 kW (Uniconfort)

1. silo cippato
2. sistema di estrazione a rastrelli
3. motori sistema di estrazione
4. coclea di trasporto
5. pozzetto di carico
6. caldaia
7. multiciclone
8. aspiratore fumi
9. canna fumaria
10. collettori

Fig. 10 - Schema di impianto di teleriscaldamento

Fig. 11 - Sezione della rete di teleriscaldamento

tuita da uno spintore idraulico, essenziale nel caso si impieghi materiale triturato molto eterogeneo, con una notevole frazione di pezzi fuori misura.

LE RETI DI TELERISCALDAMENTO

Nel caso di impianti centralizzati, il calore prodotto dalla caldaia viene trasferito alle utenze per mezzo di una rete di teleriscaldamento. La rete è costituita da una coppia (mandata e ritorno) di tubi sotterranei coibentati (profondità 80-100 cm) all'interno dei quali il calore è trasportato per mezzo dell'acqua (vettore). Nella mandata scorre acqua a circa 75-85°C, che scambia il proprio calore presso la sottostazione (singola utenza). Il ritorno riporta l'acqua nella caldaia, dopo che ha ceduto parte della sua energia termica alle utenze. La perdita di calore lungo la rete è minima (qualche grado al chilometro).

Nella sottostazione è installato uno scambiatore con funzione di trasferimento del calore dalla rete primaria a quella dell'utenza. La distribuzione del calore alle utenze è contabilizzata e gestita in telecontrollo, perciò ciascuna utenza paga il calore effettivamente consumato.

7. Le filiere realizzate dalle Regioni partner del progetto

a cura di Tiziana Mazzei - Arsia

Premessa

L'Arsia, per conto della Regione Toscana, ha coordinato il progetto interregionale Woodland Energy "La filiera Legno-Energia come strumento di valorizzazione delle biomasse legnose agroforestali". Vi hanno partecipato, oltre alla Toscana, le Regioni Abruzzo/Arssa, Friuli Venezia Giulia, Lazio/Arsial, Liguria, Marche/Assam, Molise, Sicilia e Umbria. Nell'ambito del proprio territorio, ciascuna Regione ha realizzato filiere pilota a carattere dimostrativo sulla base delle diverse tipologie di filiera previste dal progetto. In questo capitolo vengono illustrate le attività svolte dalle varie Regioni e vengono fornite indicazioni tecniche sugli impianti termici realizzati e/o monitorati.

A questo riguardo l'Arsia ha svolto un'attività di coordinamento e di supporto tecnico anche attraverso il coinvolgimento dell'Associazione Italiana Energie Agroforestali (Aiel).

Le Regioni partner
del progetto interregionale Woodland Energy

Regione Abruzzo / Arssa - Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo - Abruzzo

Emanuele Bonfitto, Rita Cianfarra - Arssa

Nella Regione Abruzzo il progetto interregionale Woodland Energy è stato attivato attraverso un'integrazione sinergica con altri progetti ad alto contenuto di innovazione tecnologica (progetto interregionale: "Supporto allo sviluppo del settore florovivaistico in Abruzzo" e progetto "Trasferimento innovazioni al settore Colture protette: tecnologie innovative ecocompatibili per produzioni orto-floricole di qualità"), finalizzati all'attuazione di applicazioni pilota e dimostrative relative all'impiego energetico di biomasse residuali derivanti prevalentemente da potature di vigneti, all'interno di strutture di protezione (serre-tunnel) ospitanti impianti di diffusione termica. Più precisamente il progetto Woodland Energy ha consentito di realizzare un impianto termico a biomassa legnosa per il condizionamento di alcuni tunnel-serra, nonché di installare, presso la Cantina Sannitica - Società cooperativa agricola di Canosa Sannita (CH), un prototipo pilota a scala ridotta per la produzione di pellet e di acquistare una trituratrice per la produzione di cippato da residui di potatura dei vigneti.

In seguito all'esperienza maturata nell'ambito del progetto, è intenzione della Regione Abruzzo

valutare la fattibilità dell'impiego dei residui di potatura della vite non solo per la produzione di energia termica, ma anche per la produzione di energia elettrica a piccola scala, considerati anche i recenti incentivi a livello nazionale per la produzione di energia elettrica da biomasse agroforestali.

Impianto di Miglianico (CH)

L'intervento effettuato

L'intervento è stato realizzato all'interno della "Piattaforma Tecnologica Avanzata Arssa per la sperimentazione e la dimostrazione nel settore delle Colture protette" ospitata dall'Azienda Emilio Piattelli di Miglianico (CH), all'interno della quale si producono colture allevate secondo la tecnica del "fuori suolo" nelle varianti del "ciclo aperto" e del "ciclo chiuso".

In particolare è stata installata una caldaia a cippato con una potenza termica di circa 350 kW, dimensionata per il condizionamento di 4 tunnel-serra di 1.813 mq complessivi (in passato i due tunnel erano riscaldati con un gruppo ad aria calda alimentato a gasolio da 200.000 kcal/h, poi dismesso per l'elevato costo energetico).

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il cippato prodotto dalla sminuzzatura dei residui di potatura dei vigneti facenti capo alla Cantina sociale Sannitica citata (circa 700 ettari potenziali), situata a circa 20 km di distanza dall'impianto, che riveste un ruolo strategico quale possibile modello organizzativo di produzione e commercializzazione di biomassa replicabile in altri comprensori regionali. Questa struttura è stata fornita di un'apposita macchina biotrituratrice elettrica e di un prototipo pilota a scala ridotta di pellettizzatrice per attività preliminari finalizzate:

- alla messa a punto e ottimizzazione del processo (caratterizzato da un'estrema semplicità in quanto nel prototipo sono assenti le sezioni aggiuntive tipiche degli impianti produttivi convenzionali come essiccatoio, raffinatore, raffreddatore del prodotto finito ecc.);

Impianto di Miglianico (CH): dati tecnico-economici

Dati tecnico-economici	
Soggetto gestore dell'impianto	Arssa / Abruzzo (nell'ambito della Piattaforma Tecnologica Avanzata per la sperimentazione e la dimostrazione nel settore delle Colture protette)
Marca della caldaia e modello	D'Alessandro Termomeccanica, Miglianico (CH) - mod. Csa 300
Potenza della caldaia installata	350 kW
Superficie complessiva di 4 tunnel serra a copertura con film plastico in PE	1.813 mq
Volume complessivo dei tunnel da riscaldare	5.516 mc
Consumo annuo previsto di cippato	182 t circa
Costo del cippato	90-110 €/t (future ottimizzazioni delle tecniche di raccolta e relativa organizzazione logistica potranno far conseguire un minore costo)
Energia termica erogata annualmente	MWh 525 complessivi (periodo gen/apr 355 MWh e ott/dic 170 MWh)
Caratteristiche biotrituratore elettrico	
Marca e modello	Caravaggi Macchine industriali, Pontoglio (BS) - mod. Bio 600 EN
Capacità operativa	max 15-20 mc/h di biomassa da potatura di vigneti con alimentazione a fascine ad avanzamento automatico; motore elettrico 30 kW
Caratteristiche del prototipo pilota a scala ridotta di pellettizzatrice	
Capacità operativa	max 30 kg/h completo di alimentatore a coclea dosatrice, centralina elettronica comando motore e apparati idraulici, spintore a tre stadi di compressione max 200 bar, estrusore e tranciatrice del pellet con diametro 10 mm e lunghezza circa 1-1,3 cm
Costruttore	Time Project, Ortona (CH)
Costo complessivo dell'investimento	Il progetto è stato realizzato con più fonti di finanziamento per un ammontare di circa € 240.000 (oltre al costo delle tubazioni di distribuzione e degli aerotermi), di cui circa 168.000 € per la parte relativa alla realizzazione dell'impianto termico.

Caldaia alimentata con residui di potatura dei vigneti, impianto di Miglianico (CH)

Particolare di un tunnel-serra riscaldato con l'impianto a cippato

- alla verifica della possibilità d'ingrandimento di scala del modulo pilota utilizzabile per le attività di produzione (l'impianto a scala più grande può essere replicato attraverso più moduli operanti in parallelo).

Il cippato che alimenterà la caldaia sarà prodotto presso la Cantina sociale Sannitica citata con l'impiego della biotrituratrice (macchina ritenuta più idonea delle cippatrici convenzionali, essendo i residui impiegati costituiti da materiale fibroso), dopo un'essiccazione naturale delle ballette di potature dei vigneti in un locale coperto. Il cippato prodotto ha le seguenti caratteristiche: contenuto idrico pari o inferiore al 25% sul tal quale (lo stoccaggio previsto in un capannone consentirà l'ottenimento di tenori di umidità ancora più ridotti), dimensione standard lunghezza non superiore a mm 30, PCI sul tal quale circa 13.000 kJ/kg, contenuto massimo in ceneri del 3,5-4% sulla biomassa secca. Il silo del cippato (seminterrato), costruito accanto alla centrale termica, ha un volume di circa 20 mc utili, che corrispondono indicativamente a 5 t di cippato.

L'impianto termico

La caldaia installata ha una potenza di 350 kW e rendimento nominale a regime di 0,82-0,85. L'energia termica netta da erogare annualmente, con un rendimento medio dell'80% (è più ridotto di quello nominale in ragione dei regimi di funzionamento parzializzato), è di 525 MWh (nel calcolo è stato considerato anche il riscaldamento relativo al periodo ottobre/dicembre – comunque da valutare in termini di opportunità – al quale afferiscono 170 MWh; mentre al periodo gennaio/aprile afferiscono 355 MWh).

Il cippato è portato al focolare per mezzo di un sistema di estrazione e sollevamento a coclea da un apposito silo orizzontale, in acciaio, seminterrato (analogo a quelli in uso negli stabilimenti di vinificazione per il ricevimento dell'uva).

Per informazioni

d.ssa Rita Cianfarra
Arssa - Ufficio di Lanciano
via del Mare, 48 - 66034 Lanciano (CH)
e-mail: cianfarrar@arssa-mail.it

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Fabio Bidese - *Ispettorato Ripartimentale Foreste di Pordenone*
Emilio Gottardo - *Ente Tutela Pesca del Friuli Venezia Giulia*

In Friuli Venezia Giulia, nell'ambito del progetto Woodland Energy, sono state attivate delle iniziative pilota per la produzione di calore mediante l'utilizzo del legno in tre realtà territoriali distinte, aventi caratteristiche socioeconomiche e forestali differenziate.

In particolare sono stati realizzati l'impianto comunale di Budoia (PN), l'impianto comunale di Pulfero (UD) e l'impianto presso il *Centro Servizi per le Foreste e le Attività della Montagna* (CeSFAM) di Paluzza (UD) di proprietà della Regione.

Inoltre, per supportare l'evoluzione del sistema legno-energia a livello regionale è stato realizzato un Sistema Informativo Territoriale (SIT), che consentirà di acquisire e aggiornare i dati relativi agli impianti realizzati nella regione, di monitorare le dinamiche che caratterizzano la domanda e l'offerta dei diversi combustibili legnosi, di individuare l'apporto della filiera legno-energia nella riduzione dei gas serra, e quindi di orientare le politiche regionali di sostegno finanziario al settore.

Infine, nel gennaio 2008 in occasione di AGRIEST, la fiera annuale dell'agricoltura di Udine, per divulgare le conoscenze e sviluppare i contatti tra i diversi attori della filiera energetica del legno, è stato organizzato l'evento "Legno Energia Friuli Venezia Giulia". Nell'ambito di tale evento si è svolta la Conferenza regionale sulla valorizzazione energetica delle biomasse legnose; durante la fiera è stato allestito un apposito stand che ha ospitato i vari soggetti della filiera e in contemporanea sono state organizzate alcune visite guidate a impianti di riscaldamento a biomasse realizzati in regione da imprese private con gli aiuti del PSR 2000/2006.

Impianto di Budoia (PN)

L'intervento effettuato

Il comune di Budoia (PN) si trova ai piedi delle Prealpi pordenonesi e da qualche anno l'Amministrazione comunale ha deliberato di investire nelle energie rinnovabili installando pannelli fotovoltaici sui tetti degli edifici comunali. Recentemente, con il programma ProBio-Woodland Energy, ha deciso di convertire il vecchio impianto termico, sostituendo cinque caldaie obsolete a metano, poste al servizio di vari edifici pubblici comunali, con un impianto centralizzato a legno cippato.

La nuova centrale termica è collocata in posizione decentrata rispetto alle utenze servite. Le caldaie sostituite presentavano una potenza installata complessiva pari a 430 kW, con un consumo medio annuo pari a 30.000 mc di metano, per una spesa di circa 25.000 €/anno.

La nuova caldaia a legno cippato ha una potenza termica di 696 kW ed è stata dimensionata in previsione del futuro allacciamento di altri edifici di uso pubblico. Il nuovo impianto è dotato di una rete di teleriscaldamento di una lunghezza comples-

Centrale termica alimentata con legno cippato a servizio di alcuni edifici pubblici comunali, impianto di Budoia (PN)

Impianto di Budoia (PN): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Presotto Impianti srl, Pordenone
Marca della caldaia e modello	UNICONFORT mod. Biotec 60
Potenza della caldaia installata	696 kW
Rendimento della caldaia	86%
Energia termica erogata	1.044 MWh/anno
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	80 m
Volume dei locali da riscaldare	9.800 mc
Volume del silo	55 mc
Consumo annuo previsto di legno cippato (w 30%)	130 t/anno
Prezzo del legno cippato	85 €/t
Alimentazione	a rastrelli con coclea di mandata – a griglia mobile
Estrazione delle ceneri	automatica a coclea
Inizio funzionamento dell'impianto	settembre 2008
Costo complessivo dell'investimento	334.471,00 €

siva di 80 metri, per trasferire il calore prodotto dalla caldaia alle utenze allacciate.

L'approvvigionamento del legno cippato

Nel territorio comunale di Budoia è presente una superficie forestale complessiva di 2.140 ettari, 605 dei quali sono di proprietà comunale e vengono utilizzati secondo le indicazioni fornite dal Piano di Gestione forestale vigente, 415 ettari rientrano nella foresta demaniale regionale del Cansiglio, mentre i restanti 1.120 ettari sono di proprietà privata.

Secondo le indicazioni del Piano di Gestione forestale, dai boschi di proprietà a disposizione del Comune si possono ricavare circa 640 mc/anno di legname, pari a una massa fresca di 510 t/anno.

Il combustibile legnoso necessario per il funzionamento dell'impianto termico potrà essere ricavato dai tagli di utilizzazione dei boschi di proprietà comunale che sono gestiti secondo criteri eco-sostenibili e certificati PEFC, o da altri boschi limitrofi.

Sia per l'Amministrazione regionale, sia per il Comune uno dei principali obiettivi da perseguire in questo progetto pilota è stato di attivare delle filiere forestali locali per l'alimentazione dell'impianto.

L'impianto termico

La caldaia installata ha una potenza di 696 kW e garantisce il riscaldamento delle utenze allacciate. L'energia termica erogata, con un rendimento dell'86% è di 1.044 MWh/anno. La caldaia è dotata di un sistema di combustione a griglia mobile e necessita di cippato di legno con contenuto idrico (W) ottimale pari o inferiore al 30%, pur essendo in grado di tollerare tenori idrici del combustibile più elevati (40%), e con pezzatura media compresa fra 3,15 e 45 mm (P45). Il silo per il combustibile legnoso ha un volume di 55 mc, che corrispondono indicativamente a 17 t di legno cippato.

IMPIANTO DI PULFERO (UD)

L'intervento effettuato

Il progetto del Comune di Pulfero è suddiviso in due lotti. I lavori del primo lotto, con i quali è stata realizzata la centrale termica e il collegamento con le utenze comunali più vicine (scuola elementare e materna, palestra e sala consiliare), si sono conclusi nel mese di settembre 2008.

Il secondo lotto prevedeva il collegamento del municipio, di un albergo e di altre utenze private con una rete di teleriscaldamento interrata. I lavori per questo lotto si sono conclusi nel dicembre 2008.

L'intervento è consistito nella realizzazione di una centrale termica, in posizione baricentrica rispetto alle utenze da servire, in una zona accessibile ai mezzi di trasporto del combustibile.

La nuova caldaia a legno cippato, con potenza di 348 kW, consentirà la sostituzione dell'attuale generatore a gas metano di 76,6 kW di potenza, che resterà collegato all'impianto per le situazioni di emergenza. Con la precedente caldaia nel 2007 si sono consumati 22.000 mc circa di gas metano, per una spesa di circa 18.000 €.

La lunghezza della rete di teleriscaldamento è complessivamente di 330 metri; le linee di teleriscaldamento sono, perlopiù, interrate su terreno comunale; il tracciato è stato studiato in modo da consentire l'estensione della rete prevista con i lavori del secondo lotto.

Caldaia con sistema di combustione a griglia mobile, impianto di Pulfero (UD)

L'approvvigionamento del legno cippato

Il territorio comunale di Pulfero si trova nelle Valli del Natisone, un'area montana del settore orientale della provincia di Udine, al confine con la Slovenia.

Il Comune di Pulfero possiede una proprietà forestale gestita secondo criteri eco-sostenibili e certificati PEFC; la superficie produttiva è di 234 ettari, con una provvigione di 32.518 mc e un incremento corrente annuo di 1.122 mc, pari a una massa fresca di 898 t/anno. Queste caratteristiche sono state considerate un punto di forza dall'Amministrazione comunale, che considera strategico utilizzare il legno locale come fonte energetica rinnovabile.

La realizzazione di un impianto di teleriscaldamento a legno a servizio degli edifici pubblici comunali e di un albergo privato, può creare una serie di condizioni favorevoli per il miglioramento delle utilizzazioni boschive, lo sviluppo di imprese forestali locali e quindi la crescita occupazionale.

Infatti, attualmente il Comune di Pulfero sta attivando alcune imprese locali che dovrebbero organizzarsi in cooperativa per seguire l'intera filiera con la raccolta e trasformazione del legno, nonché la gestione dell'impianto termico.

L'impianto termico

La caldaia installata ha una potenza di 348 kW, con un rendimento dell'87%. La caldaia è dotata di un sistema di combustione a griglia mobile e quindi può tollerare tenori idrici del combustibile anche al di sopra del 30%. Il silo per il combustibile legnoso ha un volume di 20 mc, che corrispondono indicativamente a 6 t di legno cippato.

Impianto di Pulfero (UD): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Calligher Impianti, Latisana (UD)
Marca della caldaia e modello	UNICONFORT mod. Biotec/C 30
Potenza della caldaia installata	348 kW
Rendimento della caldaia	87%
Energia termica erogata	522 MWh/anno
Lunghezza della rete di teleriscaldamento (I e II lotto)	330 m
Volume dei locali da riscaldare	6.858 mc
Consumo annuo previsto di legno cippato (w 30%)	98 t/anno
Prezzo del legno cippato (presunto)	50 €/t
Volume del silo	20 mc
Alimentazione	a rastrelli con coclea di mandata – a griglia mobile
Estrazione delle ceneri	automatica a coclea
Inizio funzionamento dell'impianto	dicembre 2008
Costo complessivo dell'investimento (I e II lotto)	232.152,00 €

Container che ospita la centrale termica di Paluzza (UD)

Impianto del CeSfam di Paluzza (UD)

L'intervento effettuato

Anche l'Amministrazione regionale ha ritenuto importante realizzare in una propria struttura un impianto di riscaldamento a legno.

Per questa iniziativa è stato scelto il Centro Servizi per le Foreste e le Attività della Montagna (CeSfam) di Paluzza (UD), dove la Regione Friuli organizza e ospita da diversi anni attività formative, anche residenziali, nel campo della gestione forestale e dell'energia dal legno. L'impianto è a servizio del capannone e dei locali spogliatoio del CeSfam, in cui sono ospitati gli operatori e le attrezzature impiegate nelle esercitazioni pratiche del centro.

Il CeSfam è stato scelto appositamente per la realizzazione di un impianto dimostrativo, per la sua frequentazione da parte di operatori del settore foresta-legno-energia e per la sua dislocazione in area montana, in prossimità di boschi di proprietà regionale, da dove si potrà ricavare comodamente il legno necessario per alimentare l'impianto termico.

L'approvvigionamento del legno cippato

La gran parte del combustibile legnoso si otterrà dai diradamenti e dai residui delle utilizzazioni effettuate nelle vicine proprietà forestali regionali, in particolare dalla vicina foresta regionale di Pramosio. Va ricordato che qualsiasi prelievo legnoso effettuato nelle foreste di proprietà regionale deve rispettare il *Piano di Gestione forestale* approvato; inoltre, da alcuni anni tutti i boschi della Regione Friuli Venezia Giulia sono gestiti secondo criteri sostenibili secondo la certificazione Pefc.

Impianto CeSfam di Paluzza (UD): dati tecnico-economici

Dati tecnico-economici	
Soggetto gestore dell'impianto	Gestione interna al CeSfam
Marca della caldaia e modello	Uniconfort mod. Dual/F 15
Potenza della caldaia installata	174 kW
Rendimento della caldaia	86%
Energia termica erogata	435 MWh/anno
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	nessuna rete
Volume dei locali da riscaldare	3.000 mc
Consumo annuo previsto di legno cippato (w 30%)	60 t/anno
Prezzo del legno cippato	non disponibile (proveniente da boschi in proprietà)
Volume del silo	13 mc
Alimentazione	a rastrelli con coclea di mandata
Estrazione delle ceneri	automatica a coclea
Inizio funzionamento dell'impianto	l'impianto è stato collaudato ed è in fase di avvio
Costo complessivo dell'investimento	68.636,00 €

L'impianto termico

La nuova caldaia, con il relativo silo, sono ospitati in un apposito container, esterno al fabbricato, collegato direttamente con la centrale termica preesistente, all'interno della quale la vecchia caldaia a gasolio rimarrà a disposizione per il funzionamento in situazioni di emergenza.

La nuova caldaia ha un sistema di combustione a griglia fissa, ha una potenza di 174 kW, in sostituzione del precedente generatore di 105 kW di potenza, il quale presentava un consumo medio annuo di 9.500 litri di gasolio. Il silo per il combustibile legnoso ha un volume di 13 mc, che corrispondono indicativamente a circa 4 t di legno cippato.

Per informazioni

dott. Fabio Bidese
Direzione centrale Risorse agricole, naturali e forestali
Ispettorato Ripartimentale Foreste di Pordenone
via Oberdan, 18 - 33170 Pordenone
e-mail: fabio.bidese@regione.fvg.it

dott. Emilio Gottardo
Ente Tutela Pesca del Friuli Venezia Giulia
via Colugna, 3 - 33100 Udine
e-mail: emilio.gottardo@regione.fvg.it

Regione Lazio / Arsial - Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio

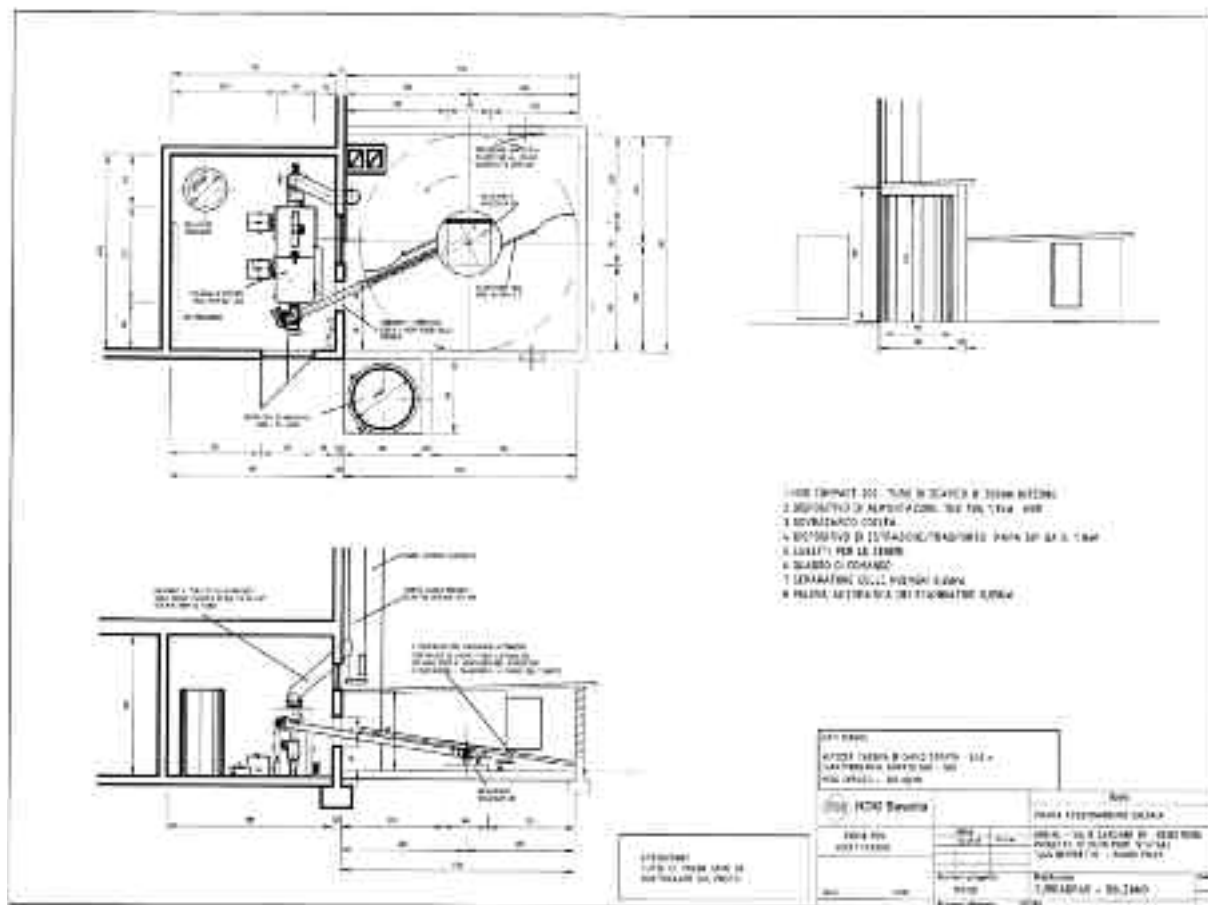
Giuseppe Izzo, Federico Sorgoni - Arsial

Nel Lazio sono state svolte varie attività. Come prima iniziativa è stata realizzata una giornata dimostrativa presso l'Istituto agrario 'San Benedetto' di Borgo Piave (LT), avente come oggetto la produzione di biomassa a uso energetico derivante dalla manutenzione delle fasce frangivento di *Eucalyptus*, particolarmente diffuse nella zona e in gestione ad Arsial. Nell'ambito della manifestazione, parallelamente ai cantieri di taglio, effettuati sia con *tree-climber* che con macchina operatrice dotata di cestello telescopico, si è provveduto, con due macchine apposite, alla cippatura del legname di risulta e alla sua raccolta. I risultati di tale giornata sono stati elaborati dal Cnr Ivalsa.

Successivamente è stato impiantato un ettaro di pioppo da Short Rotation Forestry a ciclo biennale sempre sui terreni dell'Istituto agrario 'San Benedetto', dotando l'impianto di idonee attrezzature per l'irrigazione ad aspersione. Tale impianto è sottoposto a monitoraggio (raccolta dati biometrici e agronomici), in modo tale da disporre di dati utili per proporre un modello ripetibile a livello locale.

Infine, nel complesso scolastico è in corso di installazione una nuova caldaia a biomassa, a servizio del convitto, in sostituzione della vecchia caldaia a cippato, che purtroppo ha mostrato evidenti inadeguatezze progettuali dopo il primo anno di funzionamento. È prevista la riutilizzazione della vecchia caldaia con gasolio in altri locali della scuola.

Impianto di Borgo Piave (LT)

Presso l'Istituto agrario 'San Benedetto' di Borgo Piave (LT), è prevista la sostituzione di una caldaia polivalente, biomasse-gasolio, precedentemente installata nell'ambito del progetto ProBio 2001, risultata inefficiente e con carenze impiantistiche tali da determinarne la rottura dopo solo un

Schema progettuale dell'impianto a cippato di Borgo Piave (LT)

Impianto di Borgo Piave (LT): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Provincia di Latina – Ufficio Edilizia scolastica e Istituto agrario 'San Benedetto' di Latina con teleassistenza in remoto della ditta costruttrice
Marca della caldaia e modello	HDG Bavaria Compact 200
Potenza della caldaia installata	200 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	nessuna rete
Volume dei locali da riscaldare	4.800 mc
Consumo annuo previsto di cippato	30-35 t/anno
Prezzo del cippato	40 €/t
Energia termica erogata	90 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	73.440,00 €

anno dall'installazione. Questo impianto presentava una potenza nominale di 300 kW ed era adibito al riscaldamento di un edificio scolastico di grandi dimensioni. La caldaia era stata sovradimensionata rispetto al volume dell'edificio poiché avrebbe dovuto riscaldare anche una costruzione limitrofa. Dopo il primo anno di funzionamento a cippato di legno e gusci di pinolo, che aveva fatto riscontrare notevoli risparmi rispetto al combustibile fossile, la caldaia ha ripreso a lavorare a gasolio, con un consumo di circa 9.000 litri, pari a una spesa di 11.000 €. La nuova caldaia, in corso di installazione, ha una potenza nominale di 200 kW.

Le principali finalità dell'intervento sono state: attivare una filiera legno-energia locale, rendere l'Istituto agrario 'San Benedetto' autosufficiente per i propri fabbisogni energetici di riscaldamento e dimostrare agli studenti e alla popolazione locale la possibilità di realizzare una filiera ambientalmente sostenibile e remunerativa.

L'approvvigionamento del cippato

La nuova caldaia, utilizzerà in massima parte il cippato di pioppo proveniente dalla coltura di Short Rotation Forestry effettuata nei terreni dell'istituto agrario e, qualora ne insorgesse la necessità, cippato prodotto in provincia di Frosinone, a circa 40 km di distanza (100 ettari di coltivazioni di pioppo in Short Rotation Forestry, per i quali ARSIAL fornisce assistenza tecnica e logistica). L'impianto di SRF realizzato ha avuto un ottimo attecchimento e si stima un'ottima resa in biomassa.

L'impianto termico

La caldaia in fase di realizzazione ha una potenza di 200 kW. L'impianto termico necessita di cippato con contenuto idrico ottimale pari al 40%, ma è in grado di tollerare tenori idrici del combustibile più elevati, grazie a un sistema di movimentazione interno a griglie mobili che effettua una pre-asciugatura del materiale. La pezzatura accettata arriva a un massimo di 10 cm (P100). La volumetria del serbatoio di accumulo è pari a 4 mc, mentre il volume del silo del cippato è di 25 mc.

Il sistema di alimentazione consiste in una coclea di trasporto con un diametro massimo di 6 cm, completa di saracinesca stellare girevole. La cenere residuale (2-3% del cippato immesso) viene scaricata automaticamente nell'apposito contenitore.

Per informazioni

dott. Giuseppe Izzo
dott. Federico Sorgoni
ARSIAL
via Rodolfo Lanciani, 38 - 00162 Roma
e-mail: g.izzo@arsial.it
f.sorgoni@arsial.it

Regione Liguria

Luca Marigo - Università di Genova, DIMSET Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti
Carlo Marzani - Regione Liguria, Dipartimento Ambiente

La Regione Liguria ha portato avanti le attività del progetto attraverso il *Thermochemical Power Group* del Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti (DIMSET) dell'Università degli Studi di Genova (Facoltà di Ingegneria).

In particolare, nel 2006 è stato realizzato un corso di 170 ore, preceduto da selezione, per "Esperti nell'utilizzo energetico delle biomasse agroforestali", a cui hanno partecipato 30 studenti selezionati attraverso una prova scritta e una prova orale.

Inoltre un'altra parte importante delle attività ha riguardato il monitoraggio di tre impianti di teleriscaldamento a biomassa forestale situati in provincia di Genova, dei quali due sono stati monitorati per gli aspetti impiantistico-funzionali (Campo Ligure e Rossiglione, in funzione dal febbraio 2005) e uno per gli aspetti di cantiere (Masone). Inizialmente era previsto anche il monitoraggio di un quarto impianto cogenerativo (Pieve di Teco – 2,7 MWel) la cui realizzazione ha subito dei ritardi temporali a causa di problemi di ordine amministrativo e burocratico.

Le attività di monitoraggio sono state suddivise in 6 fasi principali:

- *Preparazione del monitoraggio*: identificazione dei parametri da monitorare, delle procedure e delle tolleranze di misura; identificazione dei protocolli di raccolta dati.
- *Monitoraggio della filiera*: monitoraggio di vari aspetti che riguardano la filiera, come le pratiche agroforestali di taglio e di esbosco, lo stato di salute del territorio, la logistica, l'approvvigionamento del cippato, la sua provenienza e il suo costo alla bocca d'impianto; le metodologie di gestione della filiera ecc.
- *Monitoraggio del bio-combustibile*: identificazione delle principali caratteristiche come umidità e contenuto idrico, peso specifico, pezzatura, potere calorifico, potere calorifico inferiore ecc.
- *Monitoraggio del volume di controllo (impianto)*: funzionamento delle centrali termiche, blocchi, guasti, allarmi, piani di manutenzione ordinaria e straordinaria, consumi di elettricità, riempimenti del silo, funzionamento della rete, funzionamento del sistema integrato ecc.
- *Monitoraggio delle utenze*: definizione dei consumi di ogni utenza, curve di carico giornaliere e mensili, funzionamento delle sottostazioni.
- *Elaborazione dei risultati campionati*: stesura del manuale tecnico di monitoraggio, stesura dei protocolli dati definiti dall'ARSIA, confronto del funzionamento rispetto alle precedenti stagioni di funzionamento, analisi di sensitività dei risultati e individuazione di metodologie per l'ottimizzazione impiantistica.

Le attività di monitoraggio sono state effettuate in controllo remoto grazie alla definizione di uno specifico modulo di calcolo *real-time* in grado di interfacciarsi con il sistema di telecontrollo e di telegestione presso gli impianti di Campo Ligure e di Rossiglione. Per l'analisi termoeconomica degli impianti, condotta a partire dai dati monitorati in continuo dal sistema di telegestione, è stato utilizzato un programma realizzato dal DIMSET che consente di ottimizzare il funzionamento delle centrali termiche e dei sistemi integrati (centrale termica + rete di teleriscaldamento) grazie alle simulazioni termoeconomiche condotte.

Impianto di Campo Ligure (GE)

L'impianto di Campo Ligure, entrato in funzione nella stagione invernale 2004-2005 (febbraio 2005), è costituito da una caldaia con potenza nominale di 700 kW termici, posta al servizio di 3 utenze: il municipio, la scuola media e il palazzetto dello sport. La rete di teleriscaldamento ha una lunghezza complessiva di 800 metri circa.

L'approvvigionamento del cippato

È stato stipulato un contratto di fornitura del cippato con il Consorzio forestale Valli Stura e Orba, di durata triennale, rinnovabile, vincolando la provenienza del cippato al materiale ricavato da boschi locali stramaturi, escludendo il ricorso a cippato proveniente da scarti di industrie del legno o materiale di risulta delle attività agricole. La provenienza del cippato deve, infatti, essere di origine forestale per almeno il 90% e derivare in prevalenza da cedui invecchiati colpiti da avversità meteoriche.

Il legname viene prelevato durante la stagione autunno-invernale, cippato e immagazzinato in appositi silo sotterranei. La biomassa viene conferita tal quale senza previo essiccamento, e quindi presenta tassi di contenuto idrico del 45%.

Impianto di Campo Ligure (GE): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	SOBEA - Stura Orba Bosco Energia Ambiente
Marca della caldaia e modello	UNICONFORT mod. Biotec 60
Potenza della caldaia installata	700 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	800 m
Volume dei locali da riscaldare	23.200 mc
Consumo annuo di cippato	376 t
Prezzo del cippato	80 €/t
Energia termica erogata	490 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	292.200,00 €

Tale scelta, si è resa necessaria onde evitare la costruzione e la gestione di aree aperte di stoccaggio del legname. Il silo, realizzato sotto la superficie carrabile per non intralciare la viabilità preesistente e per annullarne l'impatto visivo, presenta una volumetria tale da garantire un'autonomia di funzionamento di circa una decina di giorni a pieno carico.

L'impianto termico

La caldaia installata è una UNICONFORT mod. Biotec 60 con potenza di 700 kW e garantisce il riscaldamento delle utenze allacciate.

Il cippato viene estratto dal silo e convogliato alla caldaia mediante un sistema automatico a doppia coclea. Le singole utenze sono alimentate ciascuna da una propria sottostazione, dotata di contabilizzatore di calore. La caldaia, la rete di teleriscaldamento e le sottostazioni sono gestite dalla SOBEA (Stura Orba Bosco Energia Ambiente), una società consortile a maggioranza pubblica, istituita per la gestione degli impianti.

Caldaia di Campo Ligure (GE), UNICONFORT mod. Biotec 60

IMPIANTO DI ROSSIGLIONE (GE)

L'impianto di Rossiglione, entrato in funzione nella stagione invernale 2005-2006, è costituito da una caldaia con potenza nominale di 1200 kW termici, posta al servizio di 4 utenze: il municipio-cinema, la scuola media, la Croce Rossa Italiana, l'ospedale Barigione.

La rete di teleriscaldamento ha una lunghezza complessiva di 1500 metri circa.

L'approvvigionamento del cippato

L'approvvigionamento del cippato avviene in modo analogo all'impianto di Campo Ligure. In particolare è stato stipulato un contratto di fornitura del cippato con il Consorzio Forestale Valli Stura

Bocca di carico del deposito di cippato, impianto di Rossiglione (GE)

Impianto di Rossiglione (GE): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	SOBEA - Stura Orba Bosco Energia Ambiente
Marca della caldaia e modello	UNICONFORT mod. Biotec 100
Potenza della caldaia installata	1.200 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	1.500 m
Volume dei locali da riscaldare	21.000 mc
Consumo annuo di cippato	475 t
Prezzo del cippato	80 €/t
Energia termica erogata	706 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	420.400,00 €

e Orba, di durata triennale, vincolando la provenienza del cippato al materiale ricavato da boschi locali stramaturi.

L'impianto termico

La caldaia installata è una UNICONFORT con potenza di 1.200 kW e garantisce il riscaldamento delle utenze allacciate. Il cippato viene estratto dal silo e convogliato alla caldaia mediante un sistema automatico a doppia coclea.

Le singole utenze sono dotate di una sottostazione, con contabilizzatore di calore.

La caldaia, la rete di teleriscaldamento e le sottostazioni sono gestite dalla SOBEA - Stura Orba Bosco Energia Ambiente.

Per informazioni

dott. Carlo Marzani
Regione Liguria
Dipartimento Ambiente
Servizio Tutela dell'Inquinamento atmosferico
e Sviluppo dell'Energia sostenibile
via G. D'Annunzio, 113 - 16121 Genova
e-mail: carlo.marzani@regione.liguria.it

ing. Luca Marigo
Thermochemical Power Group
- Renewables Area Manager
Università di Genova, Facoltà di Ingegneria
DIMSET Dipartimento di Macchine,
Sistemi Energetici e Trasporti
via Montallegro, 1 - 16145 Genova
e-mail: luca.marigo@unige.it

Regione Marche / Assam - Agenzia Servizi Settore Agroalimentare Marche

Andrea Bordoni - *Regione Marche, Servizio Agricoltura, Forestazione e Pesca*
Emilio Romagnoli - *Assam*

La Regione Marche, attraverso l'Assam, ha organizzato nel mese di marzo 2006 una giornata dimostrativa sulla raccolta delle potature della vite in località Montecarotto (AN), con il supporto tecnico-scientifico del Cnr Ivalsa, in occasione della quale sono stati allestiti e confrontati quattro cantieri: due con raccogli-trinciatrici e due con raccogli-imballatrici. Nell'ambito del progetto è stata svolta inoltre un'attività di promozione di alcune filiere legno-energia sul territorio regionale. Le filiere interessate, situate nelle province di Macerata e Ascoli Piceno, sono state promosse da Amministrazioni pubbliche, che hanno orientato le loro scelte verso un'integrazione dei consumi energetici degli edifici pubblici con fonti rinnovabili di origine agroforestale. Gli interventi attuati, in linea con le strategie energetiche previste nel *Piano Energetico Ambientale Regionale* (Pear) e con le politiche regionali di settore, hanno beneficiato di contributi regionali.

Impianto di Amandola (AP)

Ad Amandola è stato installato un impianto a legno cippato per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria dell'unità ospedaliera che assolve alle funzioni di poliambulatorio, distretto sanitario e degenza ospedaliera di medicina e chirurgia.

In precedenza il fabbisogno dell'intera struttura era assicurato da 3 caldaie a metano con potenza termica di circa 900 kW. Il nuovo impianto a biomasse è stato realizzato nelle vicinanze della centrale termica preesistente e degli altri locali tecnici ed è costituito da due corpi di fabbrica sovrapposti, costruiti in cemento armato. La struttura superiore è adibita allo stoccaggio del cippato mentre la struttura inferiore ospita due caldaie da 498 kW ciascuna.

Il vecchio impianto è messo in parallelo con il nuovo impianto a biomasse e l'integrazione viene effettuata tramite un sistema di pompaggio dalla nuova centrale a quella esistente, dove sono presenti i collettori per l'alimentazione delle varie utenze a servizio dell'ospedale. La soluzione adottata, anche se ridondante, eleva la soglia di sicurezza, in caso di anomalia o di manutenzione del sistema a biomassa.

L'approvvigionamento del cippato

Poiché l'intervento risulta in fase di ultimazione (il collaudo è stato effettuato agli inizi del 2009), la parte relativa all'approvvigionamento di biomassa è ancora in fase di organizzazione. Comunque si pensa di stipulare dei contratti con una segheria

Impianto termico di Amandola (AP)

Impianto di Amandola (AP): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	La proprietà dell'impianto è dell'Azienda ospedaliera (ASUR), la quale ha appaltato la gestione dello stesso a una società di servizi
Marca delle caldaie e modelli	Köb Pyrot
Potenza delle caldaie installate	996 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	nessuna rete
Volume dei locali da riscaldare	10.000 mc
Consumo annuo di cippato	*
Prezzo del cippato	70 €/t
Energia termica prevista	5.400 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento (a preventivo)	1.150.000,00 €

* L'impianto ha funzionato per un numero molto limitato di ore e in relazione alle verifiche in sede di collaudo. Pertanto non è possibile riportare il consumo effettivo.

locale, al fine di fornire alla centrale la materia prima necessaria per il suo funzionamento.

L'impianto termico

L'intervento sta attraversando le ultime fasi di realizzazione. L'impianto è stato infatti ultimato, comprese la realizzazione delle opere murarie e l'installazione della caldaia. Inoltre è stato sottoposto a collaudo e al momento sono in corso le pratiche burocratiche necessarie per il passaggio di gestione dall'azienda ospedaliera alla società di servizi vincitrice dell'appalto.

IMPIANTO DI APIRO (MC)

La centrale termica a biomasse è stata realizzata per produrre energia termica a servizio di alcuni edifici pubblici di proprietà dell'Amministrazione comunale, situati nel centro storico del comune e raggiunti da una rete di teleriscaldamento.

Gli edifici interessati sono: il palazzo comunale, la scuola elementare, il teatro, la scuola media, la casa di riposo, la chiesa di San Francesco. Per ciascuno di questi edifici è stato comunque mantenuto anche il precedente sistema di riscaldamento per assicurare piena garanzia di fornitura di calore in caso di possibili guasti o di fermo tecnico della centrale.

La realizzazione della centrale termica ha comportato, oltre all'installazione degli impianti dedicati alla produzione di energia e al suo trasporto, anche interventi edili e opere di sistemazione urbana che hanno consentito di limitare l'impatto visivo della centrale. Per favorire l'avvio della filiera locale, è iniziato il processo di conversione dell'azienda agricola comunale dal tradizionale indirizzo colturale alla produzione di biomassa ligno-cellulosica a utilizzo energetico.

L'approvvigionamento del cippato

L'alimentazione della nuova centrale termica prevede l'utilizzo di biomasse provenienti sia da colture dedicate prodotte nell'azienda agricola di proprietà dell'Amministrazione comunale di Apiro, sia da fonti esterne, che si trovano in ogni caso a una distanza massima di circa 40 km dal comune. Le coltivazioni dedicate impiantate sono sia erbacee annuali, sia legnose a ciclo breve. Più precisamente

Impianto di Apiro (MC): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Comune di Apiro (MC)
Marca della caldaia e modello	UNICONFORT BioKraft/1200
Potenza della caldaia installata	1.392 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	1.500 m
Volume dei locali da riscaldare	17.500 mc
Consumo annuo di cippato	400 t
Prezzo del cippato	60 €/t
Energia termica erogata	5.600 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	750.000,00 €

Ubicazione della caldaia a biomassa nell'area comunale di Apiro (MC)

sono state testate il miscanto, il panico e il sorgo. Le prime due hanno dato risultati deludenti e non verranno più utilizzate. Al contrario, il sorgo è stato impiegato anche per la stagione 2008.

È stata inoltre avviata la coltivazione di pioppo a ciclo breve (SRF) su una superficie di 11 ettari, con il primo taglio previsto per i primi mesi del 2009. Quando l'impianto di pioppo sarà a regime, il fabbisogno energetico sarà soddisfatto in parte dalla quantità di biomassa legnosa proveniente dallo stesso, mentre la parte rimanente verrà da scarti legnosi di origine agricola.

L'impianto termico

L'impianto è costituito da una caldaia con potenza complessiva di 1,4 MW termici e da una rete di teleriscaldamento, divisa in due linee, della lunghezza complessiva di 1,5 km per il raggiungimento degli edifici sopra citati. Recentemente si è iniziato a valutare la possibilità di potenziare l'impianto, per produrre energia elettrica in cogenerazione.

Lo stoccaggio della biomassa – di produzione propria o acquistata – è effettuato in strutture dell'azienda comunale, di capacità pari alla biomassa necessaria per un intero anno. Il silo adiacente la centrale consente invece un'autonomia di circa un mese. La biomassa viene prelevata da tale camera mediante una griglia mobile azionata dalla caldaia stessa. Il sistema di alimentazione è pertanto automatizzato, in modo da richiamare biomassa all'occorrenza senza perdite di efficienza. La biomassa in ingresso è costituita da una miscela di diverse tipologie di cippato, con un contenuto d'acqua intorno al 15-20%; in particolare si tratta di cippato proveniente da legno di conifere, da potature invernali di vite, olivo e del verde urbano comunale.

IMPIANTO DI ESANATOGLIA (MC)

L'impianto a biomassa realizzato nel comune di Esanatoglia è posto al servizio degli edifici scolastici comunali. Il piccolo centro didattico comunale è costituito da due edifici prospicienti, ciascuno di due piani. Il sito, che ospita il deposito del cippato e la nuova centrale termica, è posto nel sotterraneo della scuola materna.

La centrale a metano preesistente, costituita da due caldaie della potenza complessiva di 300 kW termici, è stata traslocata in appositi locali vicini a entrambi i poli didattici con lo scopo di attivarla in caso di necessità, in soccorso alla caldaia a biomassa.

È stato realizzato un sistema di teleriscaldamento con tubazioni di mandata/ritorno che collega la centrale a biomassa con i rispettivi centri didattici, distanti circa 100 m, collegato anche alla vecchia centrale.

L'approvvigionamento del cippato

La parte relativa all'approvvigionamento di biomassa è, per ora, in fase di organizzazione e comunque difficilmente, in tempi brevi, sarà possibile dare l'avvio alla filiera corta.

L'ipotesi, formulata in sede di progettazione di filiera e basata sulla possibilità di utilizzare il legno residuale delle operazioni di governo e manuten-

Sezione di controllo dell'impianto termico di Apiro (MC)

zione delle foreste demaniali, non è riuscita ancora a concretizzarsi.

In ambito comunale, nonostante alcune sollecitazioni dell'Amministrazione, non sembra esistere alcuna volontà imprenditoriale volta ad assumersi l'incarico di reperire e fornire biomassa. Per consentire l'avvio dell'impianto, i tecnici comunali hanno individuato la miglior offerta per l'acquisto di cippato presso una ditta sita nel Comune di Corciano (PG).

L'impianto termico

La struttura che ospita l'impianto è costituita essenzialmente da due corpi in cemento armato collegati tra di loro da un sistema a coclea. La prima struttura è adibita a stoccaggio e ha la parte superiore alla quota del piano stradale. La seconda struttura, adiacente, ospita la caldaia, di 330 kW di potenza.

Per informazioni

dott. Andrea Bordoni
Regione Marche - Servizio Agricoltura, Forestazione e Pesca
via Tiziano, 44 - 60125 Ancona
e-mail: andrea.bordoni@regione.marche.it

dott. Emilio Romagnoli
ASSAM
via Alpi, 21 - 60131 Ancona
e-mail: romagnoli_emilio@assam.marche.it

Impianto di Esanatoglia (MC): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Comune di Esanatoglia (MC)
Marca della caldaia e modello	Metalref
Potenza della caldaia installata	330 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	100 m
Volume dei locali da riscaldare	4455 mc
Consumo annuo di cippato	—
Prezzo del cippato (provvisorio)	80 €/t
Energia termica prevista	1.200 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	270.000,00 €

Regione Molise

Anna Del Riccio, Nicola Pavone - Regione Molise, Assessorato Agricoltura, Foreste e Pesca produttiva

La Regione Molise nell'ambito del progetto Woodland Energy ha realizzato due cantieri forestali con funzione dimostrativa e sperimentale con l'intento di verificare le reali possibilità di produrre biomassa a scopo energetico mediante la trasformazione in cippato. Tali cantieri, nel dettaglio, hanno riguardato interventi colturali di utilizzazione a carico di soprassuoli artificiali e naturali, entrambi finalizzati all'applicazione di moderni criteri di organizzazione del lavoro e all'impiego di una meccanizzazione forestale innovativa trasferibile alle altre realtà regionali coinvolte nel progetto Woodland Energy.

Un cantiere, prevalentemente dimostrativo, è stato realizzato nel mese di maggio 2006 in agro di Guardialfiera. Le prove dimostrative sono state condotte nell'intento di verificare sul piano tecnico-economico e contabile la possibilità di recuperare biomasse da tagli colturali di diradamento effettuati in un rimboschimento di resinose, con l'impiego di macchine e attrezzature forestali innovative, secondo protocolli tecnici di organizzazione e gestione del cantiere più adatti per esaltarne la produttività, la valorizzazione e la compatibilità ambientale. L'altro cantiere, invece, sia dimostrativo che sperimentale, è stato realizzato nel mese di ottobre 2006 in agro di Trivento, interessando formazioni naturali a prevalenza di cerro governate a ceduo matricinato, tipologia gestionale fortemente rappresentata in regione. Le prove hanno avuto il precipuo scopo di proporre una nuova ipotesi cantieristica per la raccolta integrata di legna da ardere e cippato attraverso l'applicazione di un sistema di esbosco a strascico per piante intere, verificando la convenienza alla trasformazione degli scarti di lavorazione e degli assortimenti di piccole dimensioni in cippato, da utilizzare a scopo energetico.

L'attuazione di tali cantieri ha visto il coinvolgimento tecnico-operativo e organizzativo del Cnr Ivalsa nonché del supporto scientifico dell'Università degli Studi del Molise.

La realizzazione dei cantieri ha permesso di valutare la sostenibilità economica, ambientale e gestionale della trasformazione di cippato da destinare ad uso energetico e nel contempo offrire alle ditte e operatori locali l'opportunità di verificare l'applicabilità di nuovi sistemi di utilizzazione forestale rispettosi dell'ambiente e della qualità della vita.

Parallelamente a tali iniziative, la Regione Molise, al fine di caratterizzare fortemente lo sviluppo, la produzione e la gestione di energia proveniente da fonti rinnovabili alternative sostenibili, ha finanziato investimenti a carattere pilota volti alla valorizzazione delle biomasse forestali a fini energetici. Tale azione ha portato alla realizzazione di sei impianti termici a biomasse, installati a servizio di edifici e/o strutture pubbliche, corredati di macchinari e attrezzature per la trasformazione e lo stoccaggio del materiale legnoso (cippato), con il supporto tecnico di Aiel-Associazione Italiana Energie Agroforestali.

Impianto di Montenero Val Cocchiara (IS)

Intervento effettuato

La Comunità Montana 'Volturno' di Venafro (IS) ha convertito il vecchio impianto termico sostituendo la caldaia alimentata a gasolio posta al servizio della Scuola elementare "F. Jovine", sita nel comune di Montenero Val Cocchiara, con un impianto a legno cippato collocato all'interno dell'utenza servita. La caldaia sostituita, presentava una potenza installata pari a 145,3 kW, con un consumo medio annuo pari a 24.000 litri di gasolio, corrispondenti a una spesa di circa 24.000 €.

La nuova caldaia a cippato ha una potenza termica di 110 kW, sufficiente a riscaldare la volumetria dell'edificio scolastico pari a 3.000 mc.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il legno cippato, prodotto dalla sminuzzatura del fasciname e degli altri residui di lavorazione provenienti dalle utilizzazioni dei boschi comunali gestiti dalla Comunità Montana.

La caldaia necessita di cippato con contenuto idrico ottimale intorno al 25-30%. Il silo del cippato, posto all'esterno dell'edificio, ha un volume di circa 28 mc.

L'impianto termico

La caldaia installata è una Froeling Turbomatic, con potenza di 110 kW e garantisce il riscaldamento della struttura. L'energia termica annualmente erogata, con un rendimento del 92%, è di 101 MWh. Il cippato è portato al focolare per mezzo di un sistema di estrazione a spintori idraulici che muovendo dei rastrelli di profilato in acciaio spingono il cippato verso una coclea trasversale.

Impianto di Montenero Val Cocchiara (IS): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Comune di Montenero Val Cocchiara (IS)
Marca della caldaia e modello	Froeling Turbomatic
Potenza della caldaia installata	110 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	nessuna rete
Volume dei locali da riscaldare	3.000 mc
Consumo annuo di cippato	83 t
Prezzo del cippato	35 €/t
Energia termica erogata	101 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	89.465,60 €

IMPIANTO DI VASTOGIRADI (IS)

Intervento effettuato

L'Ufficio territoriale per la Biodiversità del Corpo Forestale dello Stato ha realizzato un impianto a legno cippato a servizio del complesso museale e dei servizi per l'educazione ambientale presenti nella Riserva naturale orientata di Montedimezzo.

La struttura, con volumetria di 1.800 mc, è di nuova costruzione e quindi ancora non riscaldata.

La caldaia a cippato ha una potenza termica di 130 kW ed è stata dimensionata in previsione dell'allacciamento futuro di altri due edifici vicini.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il legno cippato, prodotto dalla sminuzzatura delle ramaglie e da altri materiali di risulta provenienti dalla gestione ordinaria dei popolamenti forestali presenti nella riserva stessa. Uno dei principali obiettivi dell'ufficio gestore della riserva è stato di attivare una filiera forestale locale, al fine anche di risolvere il problema dello smaltimento del cippato, già in passato prodotto e cosparso *in situ*. Il silo per lo stoccaggio del cippato, adiacente al vano ospitante la caldaia, ha una volumetria di 30 mc.

Impianto per il riscaldamento del complesso museale e dei servizi di educazione ambientale nella Riserva naturale orientata di Montedimezzo, Vastogiradi (IS)

Impianto di Vastogiradi (IS): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Ufficio territoriale per la Biodiversità del Corpo Forestale dello Stato
Marca della caldaia e modello	D'Alessandro Termomeccanica, mod. CSA
Potenza della caldaia installata	130 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	nessuna rete
Volume dei locali da riscaldare	1.800 mc
Consumo annuo di cippato	26 t
Prezzo del cippato	il cippato è prodotto dall'Ente stesso
Energia termica erogata	92 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	99.900,00 €

Struttura in legno per lo stoccaggio del cippato, Vastogiradi (IS)

L'impianto termico

La caldaia installata è una D'Alessandro Termomeccanica, modello CSA, con potenza di 130 kW e garantisce il riscaldamento della struttura. L'energia termica annualmente erogata, con un rendimento dell'85%, è di 92 MWh.

Il cippato è portato al focolare per mezzo di un sistema di alimentazione a coclea.

IMPIANTO DI TRIVENTO (CB)

Intervento effettuato

La Comunità Montana 'Trigno Medio Biferno' di Trivento ha convertito il vecchio impianto termico sostituendo la caldaia alimentata a metano con bruciatore, posta al servizio della sede della Comunità Montana stessa, con un impianto a legno cippato interrato. La caldaia sostituita presentava una potenza installata pari a 115 kW, con un consumo medio annuo pari a 11.000 mc di metano, corrispondenti a una spesa di circa 7.150 €.

La nuova caldaia a cippato ha una potenza termica di 110 kW sufficiente a riscaldare la volumetria dell'edificio della Comunità Montana, pari a 2.800 mc.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il legno cippato, ricavato dalle attività agroforestali svolte dall'Ente nei boschi comunali da esso gestiti. La caldaia necessita di cippato con contenuto idrico ottimale intorno al 25-30%. Il silo del cippato, anch'esso interrato come la caldaia, ha un volume di circa 15 mc.

L'impianto termico

La caldaia installata è della ditta D'Alessandro Termomeccanica, modello CSA, con potenza di 110 kW e garantisce il riscaldamento della struttura. L'energia termica annualmente erogata, con un rendimento superiore all'85% è di 94 MWh.

Il cippato è portato al focolare per mezzo di un sistema di estrazione a spintori idraulici, che muovendo dei rastrelli di profilato in acciaio spingono il cippato verso una coclea trasversale.

Impianto di Trivento (CB): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Comunità Montana 'Trigno Medio Biferno'
Marca della caldaia e modello	D'Alessandro Termomeccanica, mod. CSA
Potenza della caldaia installata	110 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	nessuna rete
Volume dei locali da riscaldare	2.800 mc
Consumo annuo di cippato	25 t
Prezzo del cippato	77 €/t
Energia termica erogata	94 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	93.608,48 €

Container con caldaia e deposito del cippato, impianto di Montorio nei Frentani (CB)

Impianto di Montorio nei Frentani (CB)

Intervento effettuato

La Comunità Montana 'Cigno Valle Biferno' di Casacalenda ha convertito il vecchio impianto termico, sostituendo la caldaia a gasolio posta al servizio della casa di riposo per anziani "Don Crescenzo Selvaggio", sita nel comune di Montorio nei Frentani, con un impianto a legno cippato collocato sul retro dell'edificio.

La caldaia sostituita presentava una potenza installata complessiva pari a 75 kW, con un consumo medio annuo pari a 9.000 litri di gasolio, corrispondenti a una spesa di circa 9.270,00 €.

La nuova caldaia a cippato ha una potenza termica di 110 kW ed è stata dimensionata per riscaldare la volumetria dell'edificio, pari a 2.676 mc e, in futuro, anche un altro edificio adiacente.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il legno cippato, prodotto dalla sminuzzatura del materiale di scarto prodotto dall'utilizzazione dei boschi comunali gestiti dalla Comunità Montana. La caldaia necessita di cippato con contenuto idrico (W) ottimale inferiore al 35%. Il silo del cippato ha un volume di circa 15 mc.

L'impianto termico

La caldaia installata è un modulo Lindner& Sommerauer Biocompact, con potenza di 110 kW e garantisce il riscaldamento della struttura. L'energia termica annualmente erogata, con un rendimento del 92%, è di 101 MWh. Il cippato è portato al focolare per mezzo di un sistema di estrazione a bracci rotanti che spingono il cippato verso una coclea di alimentazione.

Impianto di Campobasso (CB)

Intervento effettuato

La Comunità Montana 'Molise Centrale' di Campobasso ha convertito il vecchio impianto termico, sostituendo la caldaia alimentata a GPL, posta

Impianto di Montorio nei Frentani (CB): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Comune di Montorio nei Frentani (CB)
Marca della caldaia e modello	Lindner&Sommerauer Biocompact
Potenza della caldaia installata	110 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	nessuna rete
Volume dei locali da riscaldare	2.676 mc
Consumo annuo di cippato	40 t
Prezzo del cippato	70 €/t
Energia termica erogata	101 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	97.601,00 €

Strutture ricettive (bungalow) riscaldate con l'impianto di teleriscaldamento a cippato di Montevairano (CB)

al servizio di una struttura ricettiva costituita da un ristorante e quattro bungalow, sita nel Parco naturalistico di Montevairano (CB) e gestita dalla Comunità Montana stessa, con un impianto centralizzato a legno cippato collocato in posizione decentrata rispetto alle utenze servite. La caldaia sostituita presentava una spesa annua di circa 8.700,00 €.

La nuova caldaia a cippato ha una potenza termica di 75 kW, più che sufficiente a riscaldare la volumetria complessiva delle strutture, pari a 260 mc. Il nuovo impianto trasferisce il calore prodotto dalla caldaia alle utenze allacciate tramite una rete di teleriscaldamento della lunghezza complessiva di 150 m.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il legno cippato, prodotto dalla sminuzzatura del fasciname e degli altri residui di lavorazione provenienti dalle utilizzazioni dei boschi comunali gestiti dalla Comunità Montana. La caldaia necessita di cippato con contenuto idrico medio del 35%. Il silo del cippato ha un volume di circa 14 mc.

L'impianto termico

La caldaia installata è un modulo Lindner& Sommerauer Biocompact, con potenza di 75 kW e garantisce il riscaldamento delle strutture. L'energia termica annualmente erogata, con rendimento dell'87%, è di 65 MWh.

Il cippato è portato al focolare per mezzo di un sistema di estrazione a bracci rotanti che spingono il cippato verso una coclea di alimentazione.

Impianto di Agnone (IS)

Intervento effettuato

La Comunità Montana 'Alto Molise' di Agnone (IS) ha convertito il vecchio impianto termico, sostituendo la caldaia alimentata a metano con bruciatore, posta al servizio della sede della Comunità Montana stessa, sita in Agnone, con un impianto a legno cippato collocato nel giardino sul retro dell'edificio.

La caldaia sostituita presentava una potenza installata complessiva pari a 155 kW, con un consu-

Impianto di Campobasso (CB): dati tecnico-economici

Dati tecnico-economici	
Soggetto gestore dell'impianto	Comunità Montana 'Molise Centrale'
Marca della caldaia e modello	Lindner&Sommerauer Biocompact
Potenza della caldaia installata	75 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	150 m
Volume dei locali da riscaldare	260 mc
Consumo annuo di cippato	27 t
Prezzo del cippato	80 €/t
Energia termica erogata	65 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	122.151,00 €

Sistema di estrazione a rotore doppio del deposito di cippato, impianto di Agnone (IS)

mo medio annuo pari a circa 9.000 mc di metano, corrispondenti a una spesa di circa 5.700 €.

La nuova caldaia a cippato invece, ha una potenza termica di 110 kW, più che sufficiente a riscaldare la volumetria dell'edificio, pari a 4.146 mc.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il legno cippato, prodotto dalla sminuzzatura del fasciname e degli altri residui di lavorazione provenienti dalle utilizzazioni dei boschi comunali gestiti dalla Comunità Montana. La caldaia necessita di cippato con contenuto idrico medio pari al 35%. Il silo del cippato ha un volume di circa 28 mc.

L'impianto termico

La caldaia installata è un modulo Lindner& Sommerauer Biocompact, con potenza di 110 kW e garantisce il riscaldamento della struttura. L'energia termica annualmente erogata, con un rendimento del 92%, è di 101 MWh.

Il cippato è portato al focolare per mezzo di un sistema di estrazione a bracci rotanti che spingono il cippato verso una coclea di alimentazione.

Per informazioni

dott. Nicola Pavone
d.ssa Anna Del Riccio
Regione Molise - Assessorato Agricoltura, Foreste e Pesca Produttiva
Servizio Tutela forestale
via Nazario Sauro, 1 - 86100 Campobasso
e-mail: pavone.nicola@mail.regione.molise.it

Impianto di Agnone (IS): dati tecnico-economici

Dati tecnico-economici	
Soggetto gestore dell'impianto	Comunità Montana 'Alto Molise'
Marca della caldaia e modello	Lindner&Sommerauer Biocompact
Potenza della caldaia installata	110 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	nessuna rete
Volume dei locali da riscaldare	4.146 mc
Consumo annuo di cippato	40 t
Prezzo del cippato	72 €/t
Energia termica erogata	101 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	98.456,00 €

Regione Siciliana

Giuseppe Giarrizzo, Giuseppe Spartà - Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste

Nel settore delle agroenergie, la Regione Siciliana, tramite l'Assessorato Agricoltura e Foreste, ha promosso una serie di iniziative per sperimentare e divulgare la possibilità di utilizzare a scopi energetici la grande quantità di residui organici (biomasse) disponibili sul territorio regionale.

In quest'ottica ha già portato a termine il progetto SerEnRi (Serre climatizzate con Energia Rinnovabile), finalizzato a realizzare, su scala dimostrativa, una filiera di valorizzazione energetica di biomasse lignocellulosiche provenienti dai residui di potatura dell'olivo da impiegare nel settore delle colture protette climatizzate, mentre è in corso di attuazione un progetto di interesse nazionale, di cui la Regione Siciliana è capofila, che ha come obiettivo la certificazione delle filiere bioenergetiche.

In questo contesto la Regione Siciliana, nell'ambito del progetto Woodland Energy, ha ritenuto opportuno realizzare un'iniziativa pilota nel distretto produttivo di Marsala (TP) per dimostrare la sostenibilità tecnica, ma soprattutto economica, dell'utilizzo di caldaie a biomassa per il riscaldamento delle serre, particolarmente favorevole per gli elevati consumi di combustibili convenzionali nel settore florovivaistico, per la grande disponibilità di biomassa derivante dalla notevole presenza nel comprensorio limitrofo di vigneti e oliveti e per la presenza di aziende di discrete dimensioni con evidenti vantaggi nella logistica della raccolta della biomassa. A tal fine sono stati stimati i costi relativi alle varie fasi della filiera ed effettuate valutazioni sulla sua fattibilità economica e tecnica. Infine è stato realizzato un impianto termico a biomasse presso un'azienda florovivaistica del Comune di Marsala per il riscaldamento dei bancali di moltiplicazione di una serra.

Impianto di Marsala (TP)

Intervento effettuato

Nell'ambito delle iniziative agroenergetiche attivate con i fondi ProBio-Mipaaf, in un'azienda florovivaistica del Comune di Marsala è stato realizzato un impianto termico a biomassa per il riscaldamento di una serra di produzione di circa 800 mq, dotata di bancali per la moltiplicazione di piante ornamentali. L'impianto termico, interamente assemblato in due container (uno adibito a vano caldaia, l'altro a silo di stoccaggio), è stato montato in parallelo alla vecchia caldaia a gasolio, che consumava mediamente 40.000 kg di gasolio l'anno, corrispondenti a una spesa di circa 30.000 €.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il trinciato di legno, prodotto dalla trinciatura dei residui di potatura dell'olivo raccolti direttamente in campo con una raccogli-trincia-caricatrice e amminutati successivamente con un biotrituratore.

Obiettivo principale dell'intervento è stato quello di valorizzare da un punto di vista energetico i residui delle colture arboree locali, risolvendo insieme il problema dello smaltimento dei residui di potatura dell'olivo (3-5 t/ha/anno) e quello dell'aumento notevolissimo dei costi del combustibile convenzionale nelle serre climatizzate.

La caldaia necessita di un trinciato con contenuto idrico (W) ottimale inferiore al 30%, ma è in grado di tollerare tenori idrici del combustibile più elevati (40%), e una pezzatura media compresa fra 3 e 5 mm. Il silo del cippato ha un volume di circa 20 mc.

Impianto di Marsala (TP): dati tecnico-economici

Dati tecnico-economici	
Soggetto gestore dell'impianto	Azienda florovivaistica del Comune di Marsala (TP)
Marca della caldaia e modello	Uniconfort mod. Dual/F
Potenza della caldaia installata	330 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	nessuna rete
Volume dei locali da riscaldare	2.400 mc
Consumo annuo di cippato	125 t
Prezzo del cippato	72 €/t
Energia termica erogata	—
Costo complessivo dell'investimento	97.423,00 €

Impianto termico di Marsala (TP), caldaia a griglia fissa alimentata da trinciato di potatura di olivo

L'impianto termico

La caldaia installata è una UNICONFORT mod. Dual/F a griglia fissa con potenza installata di circa 330 kW, e rendimento pari all'87,7%.

La caldaia può bruciare efficacemente cippato con un contenuto di umidità sul tal quale fino a circa il 40-42% e quindi permette di utilizzare un'ampia gamma di combustibili; il consumo è di circa 95-100 kg/h di cippato, considerando un funzionamento continuo a massima potenza. Il cippato è portato al focolare per mezzo di una coclea di alimentazione.

Per informazioni

dott. Giuseppe Spartà
Regione Siciliana
Assessorato Agricoltura e Foreste
Dipartimento Interventi infrastrutturali
Servizio X LEADER
via Regione Siciliana, 4600
90145 Palermo
e-mail: gsparta@regione.sicilia.it

Regione Toscana / Arsia - Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale

Tiziana Mazzei, Gianfranco Nocentini - Arsia

La Regione Toscana attraverso le risorse finanziarie del progetto Woodland Energy, unitamente alle risorse di altri progetti a carattere regionale ed europeo, ha realizzato e monitorato diversi impianti termici alimentati a biomassa legnosa.

In particolare, sono stati realizzati e monitorati otto impianti riconducibili alla filiera della vendita del cippato e a quella dell'autoconsumo. Successivamente, tenuto conto dell'importanza della filiera della vendita del calore (*contracting*), per la quale non erano ancora stati realizzati esempi concreti nell'ambito del progetto Woodland Energy, la Regione Toscana ha promosso e finanziato uno specifico bando – rivolto a imprese agroforestali – per la realizzazione di impianti termici finalizzati alla vendita del calore a utenze pubbliche/private, bando ha consentito di realizzare altri due impianti termici.

Nell'ambito del progetto sono state inoltre realizzate quattro giornate dimostrative, durante le quali sono stati allestiti cantieri sperimentali/dimostrativi, in particolare:

- nel mese di marzo 2006, una giornata sulla raccolta di Short Rotation Forestry di pioppo, presso San Piero a Grado (PI), organizzata dal Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi" in collaborazione con la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa;
- nel mese di marzo 2006 due giornate sul taglio del bosco ceduo di castagno e cerro e recupero della ramaglia, tenutesi rispettivamente a Gaiole in Chianti (SI) e a Greve in Chianti (FI), organizzate dal Consorzio per la Gestione delle risorse forestali dei Monti del Chianti in collaborazione con il Comune di Gaiole in Chianti e il supporto tecnico-scientifico del Cnr Ivalsa;
- nel mese di marzo 2008, una giornata sulla raccolta di Short Rotation Forestry di pioppo e canna comune presso il Centro di collaudo e trasferimento dell'innovazione Arsia di Cesa - Marciano della Chiana (AR), organizzata da Arsia in collaborazione con la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi" dell'Università di Pisa, il Diaf-Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale dell'Università di Firenze, Powercrop e il Consorzio Nazionale Energie Rinnovabili agricole (Cner).

La Regione Toscana, attraverso l'Arsia, ha svolto un'attività di coordinamento fra le Regioni aderenti al progetto e ha provveduto a un'ampia divulgazione del progetto nell'ambito dei vari convegni e seminari che si sono svolti sul settore delle agrienergie.

Impianto di Camporgiano (LU)

Intervento effettuato

L'impianto di Camporgiano (LU) è stato realizzato dal Comune al servizio delle scuole elementare e materna e di un centro servizi, per il riscaldamento

Caldaia a camera di combustione cilindrica, impianto di Camporgiano (LU)

Particolare della coclea che convoglia il cippato verso il pozzetto di caduta centrale, impianto di Camporgiano (LU)

Impianto di Camporgiano (LU): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Comune di Camporgiano (LU)
Marca della caldaia e modello	Köb Pyrot
Potenza della caldaia installata	540 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	300 m
Volume dei locali da riscaldare	7.800 mc
Consumo annuo di cippato	176 t
Costo del cippato	49,5 €/t
Energia termica erogata	494 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	285.000,00 €

sia degli ambienti, con una volumetria complessiva di 7.800 mc, sia dell'acqua sanitaria. La caldaia installata ha una potenza pari a 540 kW. Le utenze sono connesse alla centrale termica per mezzo di una minirete di teleriscaldamento di 300 metri. L'impianto è stato affiancato da una caldaia a gasolio, con funzione di soccorso, di un potenza pari a 120 kW.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il legno cippato proveniente dai territori della Comunità Montana della Garfagnana. I boschi utilizzati sono le fustaie di conifere, soggette a diradamenti, il cui legname è completamente destinabile alla produzione di cippato, e le fustaie di faggio dalle quali si ricava solo cippato di ramaglia.

La caldaia necessita di cippato con contenuto idrico (W) ottimale inferiore al 30% (circa 3,4 MWh/t) e pezzatura media compresa fra 3,15 e 45 mm (P45). Il silo del cippato ha un volume di circa 120 mc, che corrispondono indicativamente a 32 t di cippato, per un'autonomia prevista di circa 30 giorni.

L'impianto termico

Il vano tecnico, addossato alla pendice di una collina, è costruito in cemento armato ed esteticamente rivestito. La caldaia installata è una Köb Pyrot, con potenza di 540 kW e garantisce il riscaldamento delle utenze allacciate. L'impianto è dotato di un accumulo inerziale di 6.000 litri.

Il cippato è portato al focolare per mezzo di un sistema di estrazione a rastrelli che spazza il fondo del silo, facendo progressivamente cadere il combustibile nella trincea in cui alloggia una coclea di convogliamento verso il pozzetto di caduta centrale.

La caldaia è dotata di una camera di combustione cilindrica con combustione a rotazione ed è provvista di un estrattore automatico a coclea delle ceneri che le porta in un contenitore esterno.

IMPIANTO DI LORO CIUFFENNA (AR)

Intervento effettuato

L'impianto di Loro Ciuffenna (AR) è stato realizzato dal Comune al servizio della Comunità Montana del Pratomagno, delle scuole media, elementare e materna, del micronido, della mensa della scuola media, della stazione del Corpo Forestale dello Stato, per una volumetria complessiva di 16.000 mc, sia per il riscaldamento degli ambienti che dell'acqua sanitaria. La caldaia installata ha una potenza nominale di 500 kW. Le utenze sono connesse alla centrale termica per mezzo di una minirete di teleriscaldamento di 270 metri.

L'impianto è stato affiancato da due caldaie a metano con funzione di riserva, con potenza rispettivamente di 280 e di 175 kW.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il legno cippato proveniente dai territori limitrofi, prevalentemente da rimboschimenti di conifere, dalla manutenzione dei boschi di faggio e castagno, dalla ripulitura delle scarpate e dalla bonifica di torrenti. Il fornitore del cippato è una cooperativa forestale locale, alla quale è anche affidata la manutenzione ordinaria della caldaia.

La caldaia, dotata di una griglia semimobile, necessita di cippato con contenuto idrico (W) ottimale inferiore al 30%, tuttavia è in grado di tollerare cippato con contenuto idrico fino al 40%, e pezzatura media compresa fra 3,15 e 45 mm (P45). Il silo del cippato ha un volume di circa 126 mc, per un'autonomia prevista di circa 20 giorni.

L'impianto termico

La centrale termica è stata costruita *ex novo* e ricavata dietro la scuola. L'annesso deposito del cippato è coperto da una piramide vetrata con funzione didattica.

Impianto di Loro Ciuffenna (AR): dati tecnico-economici

Dati tecnico-economici	
Soggetto gestore dell'impianto	Comune di Loro Ciuffenna (AR)
Marca della caldaia e modello	Froeling Lambdamat Ind/S 500
Potenza della caldaia installata	500 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	270 m
Volume dei locali da riscaldare	16.000 mc
Consumo annuo di cippato	236 t
Prezzo del cippato	66 €/t
Energia termica erogata	603 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	337.855,00 €

Pannelli solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria, impianto di Loro Ciuffenna (AR)

Particolare delle coclee che convogliano il cippato verso il rotore a bracci articolati, impianto di Loro Ciuffenna (AR)

La caldaia installata è una Froeling Lambdamat Ind/S, con una potenza di 500 kW, e garantisce il riscaldamento delle utenze installate. L'energia termica annualmente erogata, con un rendimento di circa il 90% è di 603 MWh. L'impianto è dotato di un accumulo inerziale di 10.000 litri.

Il cippato è portato al focolare per mezzo di un rotore a bracci articolati che convoglia il cippato nella coclea di caricamento. La distribuzione del cippato all'interno del silo è stata implementata adottando una soluzione funzionale costituita da 3 coclee che attraversano da parete a parete il silo, per spostare il cippato nell'area di azione dell'estrattore rotante. Il generatore a cippato è stato integrato con un impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria costituito da circa 26 mq di superficie di pannelli installata, di cui 10 mq a servizio della Comunità Montana, 8 mq a servizio delle scuole elementare e materna e 8 mq a servizio del micronido.

Inoltre è stato installato un impianto fotovoltaico con una potenza di 3 kW, in grado di coprire circa il 90% del consumo annuo di energia elettrica della centrale termica e della rete di teleriscaldamento.

Impianto di Casole d'Elsa (SI)

Intervento effettuato

L'impianto di Casole d'Elsa (SI), è stato realizzato dal Comune presso il complesso scolastico di Casole. È posto al servizio dell'asilo nido e delle scuole materna, elementare e media, per il riscaldamento sia degli ambienti che dell'acqua calda sanitaria, per una volumetria complessiva di 16.650 mc. La caldaia installata ha una potenza nominale di 540 kW. Le utenze sono connesse alla centrale termica per mezzo di una minirete di teleriscaldamento di 100 metri.

Il complesso era riscaldato con una caldaia a metano centralizzata, mantenuta per i casi di emergenza. Inoltre, a breve sarà collegata una nuova scuola in fase di costruzione, con una volumetria complessiva di 7.000 mc, e il Comune sta valutando di collegare anche il municipio.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia viene fornito da un'azienda agricola della provincia di Siena ed è costituito pre-

Impianto di Casole d'Elsa (SI): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Comune di Casole d'Elsa (SI)
Marca della caldaia e modello	Köb Pyrot
Potenza della caldaia installata	540 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	100 m
Volume dei locali da riscaldare	16.650 mc
Consumo annuo di cippato	61 t
Prezzo del cippato	70 €/t
Energia termica erogata	171 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	351.754,00 €

valentemente dai residui di lavorazione dei boschi di castagno. Tuttavia, per alimentare la caldaia vengono anche utilizzati residui di segheria.

La caldaia necessita di cippato con contenuto idrico (W) ottimale inferiore al 30% (circa 3,4 MWh/t) e pezzatura media compresa fra 3,15 e 45 mm (P45). Il silo del cippato ha un volume di circa 117 mc, per un'autonomia prevista di circa 30 giorni.

L'impianto termico

Il vano tecnico e il silo del cippato sono stati ricavati all'interno di volumi situati a piano terreno già esistenti nell'edificio scolastico.

La caldaia installata è una Köb Pyrot, con potenza di 540 kW e garantisce il riscaldamento delle utenze allacciate. L'impianto è dotato di un accumulo inerziale di 6.000 litri. Il generatore è dotato di un sistema di pulizia pneumatica dei fasci tubieri, quindi lo scambiatore viene pulito automaticamente a intervalli programmati mediante getti di aria compressa. È stato, inoltre, montato un depolverizzatore a gravità che consente di mantenere il livello minimo di emissioni al di sotto dei limiti di norma (100 mg/mc).

Il cippato è portato al focolare per mezzo di un sistema di estrazione a rastrelli facendo progressivamente cadere il combustibile nella trincea in cui alloggia una coclea di convogliamento verso il pozzetto di caduta centrale. La caldaia è dotata di una camera di combustione cilindrica con combustione a rotazione.

Impianto termico di Casole d'Elsa (SI), scambiatore di calore esterno

IMPIANTO 1 DI MONTICIANO (SI)

Intervento effettuato

L'impianto 1 di Monticiano (SI), realizzato dal Comune, in fase progettuale è stato dimensionato per il riscaldamento di cinque edifici pubblici per un volume complessivo di circa 20.000 mc. Tuttavia, attualmente risultano servite solo due utenze

La caldaia e gli accumuli inerziali dell'impianto di Monticiano (SI)

Impianto 1 di Monticiano (SI): dati tecnico-economici

Dati tecnico-economici	
Soggetto gestore dell'impianto	Comune di Monticiano (SI)
Marca della caldaia e modello	Froeling Lambdamat Ind/S 500
Potenza della caldaia installata	500 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	100 m
Volume dei locali da riscaldare	3.500 mc
Consumo annuo di cippato	48 t
Prezzo del cippato	77 €/t
Energia termica erogata	135 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	335.024,00 €

pubbliche, il palazzo comunale e l'adiacente biblioteca, per una volumetria di 3.500 mc. A oggi viene, quindi, riscaldato solo circa il 20% della volumetria prevista dal progetto.

L'obiettivo futuro è quello di valorizzare pienamente le potenzialità dell'impianto collegando gli edifici adiacenti. Infatti sono in corso di realizzazione dei lavori di ampliamento della rete, di 100 m, per collegare l'edificio della Provincia, l'auditorium, la scuola media. Il tutto per un volume totale di circa 5.000 mc. Tale incremento della richiesta termica avrà un effetto molto positivo sulla funzionalità dell'impianto e sulla sua sostenibilità finanziaria.

La caldaia ha una potenza nominale di 500 kW, e le utenze sono attualmente collegate da una rete di teleriscaldamento di 100 m di lunghezza.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia proviene da una ditta che ha sede nel territorio comunale e che effettua prelievi forestali nei boschi locali e vende materiale da opera. Il cippato è prodotto per lo più dagli scarti di lavorazione del morale di castagno.

La caldaia, dotata di una griglia semimobile, necessita di cippato con contenuto idrico (W) ottimale inferiore al 30%, tuttavia è in grado di tollerare cippato con contenuto idrico fino al 40%, e pezzatura media compresa fra 3,15 e 45 mm (P45). Il silo del cippato ha un volume di circa 120 mc, per un'autonomia prevista di circa 20 giorni.

L'impianto termico

La centrale termica, composta dal vano tecnico e dal deposito del cippato, è stata realizzata in cemento armato sotto un piazzale preesistente fra le due utenze ora allacciate. Sul fondo del silo è collocato un rotore che aziona il sistema di estrazione a bracci articolati per il convogliamento del cippato verso la coclea di caricamento del focolare della caldaia.

La caldaia installata è una Froeling Lambdamat Ind/S 500, che garantisce il riscaldamento delle utenze allacciate. L'impianto è dotato di due accumuli inerziali da 3.000 litri ciascuno.

Impianto di Cetica (AR)

Intervento effettuato

L'impianto di Cetica (AR) è posto nella parte più a valle della frazione, dove si localizzano: l'impianto sportivo, la sede del Museo del Carbonaio e la sede della Pro Loco "I Tre Confini", i giardini pubblici e la Pieve. Le utenze servite sono complessivamente 12; oltre a quelle sopra menzionate a uso pubblico, sono allacciate, per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria, anche delle abitazioni private, per una volumetria complessiva di 12.000 mc. Le utenze sono collegate da una rete di teleriscaldamento di 575 m, realizzata seguendo la viabilità stradale. Circa 135 m della rete sono costituiti da diramazioni secondarie realizzate da privati. Ciascuna utenza è dotata di una propria sottostazione con relativo contabilizzatore di calore.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia viene fornito da un'azienda agricola locale e proviene dal legname prodotto dai diradamenti eseguiti nelle giovani fustaie di conifere.

La caldaia è del tipo a griglia mobile in grado di bruciare cippato con contenuto idrico (W) fino al 45%. Il silo del cippato ha un volume di circa 164 mc, per un'autonomia prevista di circa 20 giorni.

L'impianto termico

La caldaia installata è una Uniconfort mod. Biotec/G, con potenza di 350 kW e garantisce il riscaldamento delle utenze installate. L'impianto è dotato di un accumulo inerziale di 4.000 litri. Il cippato è estratto dal deposito per mezzo di un sistema a braccio articolato e caricato nella parte alta

Impianto di Cetica (AR): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Comune di Castel San Niccolò (AR)
Marca della caldaia e modello	UNICONFORT mod. Biotec/G
Potenza della caldaia installata	350 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	575 m
Volume dei locali da riscaldare	12.000 mc
Consumo annuo di cippato	120 t
Prezzo del cippato	66 €/t
Energia termica erogata	337 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	213.185,00 €

Contenitore delle ceneri primarie estratte attraverso un dispositivo a coclea, impianto di Cetica (AR)

Particolare della rete di distribuzione del calore, impianto di Fivizzano (MS)

della griglia mobile per mezzo di una coclea. Le ceneri sono evacuate grazie a un dispositivo a coclea che le scarica nell'apposito secchiello esterno. I fumi in uscita passano attraverso un separatore delle polveri a multiciclone, il cui principio di funzionamento si basa sulla combinazione fra forza di gravità e forza centrifuga.

IMPIANTO DI FIVIZZANO (MS)

Intervento effettuato

L'impianto di Fivizzano (MS), realizzato dalla Comunità Montana della Lunigiana, è stato posto al servizio di tre utenze: la sede della Comunità Montana, la sede della Pubblica assistenza-AVIS e della scuola elementare, per il riscaldamento degli ambienti, con una volumetria complessiva di 6.300 mc, e la produzione di acqua calda sanitaria. La caldaia installata ha una potenza nominale di 220 kW. Le utenze sono collegate alla centrale per mezzo di una rete di teleriscaldamento di 320 metri.

L'impianto è stato affiancato a una caldaia a metano – presso il centro della Pubblica assistenza – con funzione di riserva e a un boiler elettrico, per la produzione di acqua calda sanitaria nel periodo estivo. Ogni utenza è dotata di contabilizzatore di calore.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il legno cippato che proviene dal legname ricavato dalla Comunità Montana della Lunigiana dall'ordinaria manutenzione dei boschi demaniali in gestione. Le formazioni utilizzate sono prevalentemente le fustaie di conifere, soggette a diradamenti, il cui legname è completamente destinabile alla produzione di cippato.

La caldaia necessita di cippato con contenuto idrico (W) ottimale inferiore al 30% e pezzatura media compresa fra 3,15 e 45 mm (P45), anche se essendo a griglia mobile, riesce a gestire combustibile con contenuto idrico superiore. Il silo del cippato ha un volume di circa 60 mc.

L'impianto termico

La caldaia installata è una Froeling Turbomat, con potenza di 220 kW e garantisce il riscaldamento delle utenze allacciate. L'impianto è dotato di un

Impianto di Fivizzano (MS): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Comunità Montana della Lunigiana
Marca della caldaia e modello	Froeling Turbomat
Potenza della caldaia installata	220 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	320 m
Volume dei locali da riscaldare	6.300 mc
Consumo annuo di cippato	59 t
Prezzo del cippato	77 €/t
Energia termica erogata	166 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	143.000,00 €

accumulo inerziale di 2.000 litri e di un multiciclone esterno per l'abbattimento dei fumi.

Il silo è chiuso da un portellone vetrato sollevabile per lo scarico del cippato e per le ispezioni. Un meccanismo a rotore e coclea sul fondo del silo estrae il cippato e lo trasferisce alla caldaia.

Impianto di Rincine (FI)

Intervento effettuato

L'impianto di Rincine (FI), realizzato dalla Comunità Montana 'Montagna Fiorentina', è stato posto al servizio di tre edifici: gli uffici e il complesso abitativo della Comunità Montana, il centro polifunzionale e la foresteria, che presentano una volumetria complessiva di 4.500 mc, per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria.

La caldaia installata ha una potenza nominale di 320 kW. Le utenze sono collegate alla centrale per mezzo di una rete di teleriscaldamento di 130 m. L'impianto è stato affiancato da una caldaia a gasolio, della potenza di 93 kW, con funzione di soccorso e da boiler termoelettrici per la produzione dell'acqua calda sanitaria nel periodo estivo.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è il legno cippato che proviene dal legname che la Comunità Montana 'Montagna Fiorentina' ricava nell'ordinaria manutenzione dei boschi demaniali in gestione.

Le formazioni utilizzate sono prevalentemente le fustaie di conifere, soggette a diradamenti, il cui legname è completamente destinabile alla produzione di cippato.

La caldaia necessita di cippato con contenuto idrico (W) ottimale inferiore al 30% e pezzatura media compresa fra 3,15 e 45 mm (P45), anche se essendo a griglia mobile, riesce a gestire anche combustibile con un contenuto idrico superiore. Il silo del cippato ha un volume di circa 65 mc.

Bocca di carico del cippato localizzata nella parete laterale del silo, impianto di Rincine (FI)

Impianto di Rincine (FI): dati tecnico-economici

Dati tecnico-economici	
Soggetto gestore dell'impianto	Comunità Montana 'Montagna Fiorentina'
Marca della caldaia e modello	Froeling Lambdamat Ind/V
Potenza della caldaia installata	320 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	130 m
Volume dei locali da riscaldare	4.500 mc
Consumo annuo di cippato	66 t
Costo del cippato	35 €/t
Energia termica erogata	185 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	153.900,00 €

L'impianto termico

La caldaia installata è una Froeling Lambdamat Ind/V, con potenza di 320 kW e garantisce il riscaldamento delle utenze allacciate. L'impianto è dotato di un accumulo inerziale di 6.000 litri e di un accumulo per l'acqua calda sanitaria di 1.000 litri. Il cippato è portato al focolare per mezzo di un rotore a bracci articolati che convoglia il cippato alla coclea di caricamento in caldaia.

L'impianto è dotato di un multiciclone per l'abbattimento dei fumi e di un sistema automatico per l'estrazione delle ceneri. L'impianto ha una potenza elettrica installata pari a 16,49 kW.

Impianto di Torsoli (FI)

Intervento effettuato

L'impianto di Torsoli (FI) è stato realizzato a servizio degli edifici e delle strutture di un'azienda agricola, costituiti da otto abitazioni e da un annesso per la trasformazione alimentare, che presentano una volumetria complessiva pari a 3.000 mc, per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. La caldaia installata ha una potenza nominale di 100 kW e le utenze sono collegate alla centrale per mezzo di una minirete di teleriscaldamento di 50 metri.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione della caldaia è totalmente autoprodotto dall'azienda attraverso la gestione di rimboschimenti di conifera, di cedui di castagno e di formazioni riparie, sia di proprietà aziendale che in affitto.

La caldaia necessita di cippato con contenuto idrico (W) ottimale inferiore al 30% e pezzatura media compresa fra 3,15 e 45 mm (P45).

Il silo del cippato ha un volume di circa 27 mc.

L'impianto termico

La caldaia installata è una Lindner&Sommerauer, con potenza di 100 kW e garantisce il riscal-

Fornitura di cippato presso l'impianto di Torsoli (FI)

Impianto di Torsoli (FI): dati tecnico-economici

Dati tecnico-economici	
Soggetto gestore dell'impianto	Azienda agricola in località Torsoli (FI)
Marca della caldaia e modello	Lindner&Sommerauer
Potenza della caldaia installata	100 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	50 m
Volume dei locali da riscaldare	3.000 mc
Consumo annuo di cippato	—
Prezzo del cippato	—
Energia termica erogata	—
Costo complessivo dell'investimento	43.000,00 €

damento e la produzione dell'acqua sanitaria per l'intero complesso aziendale. L'impianto è dotato di due accumuli inerziali da 250 e 1.000 litri.

Il cippato è portato al focolare per mezzo di un rotore a bracci articolati che convoglia il cippato alla coclea di caricamento in caldaia.

Impianto 2 di Monticiano (SI)

Intervento effettuato

Nel comune di Monticiano, in località Scalvaia, da parte di un'azienda agricola è stato realizzato un impianto di teleriscaldamento a legno cippato per la fornitura di energia termica a circa 25 utenze private (filiera della vendita del calore).

L'impianto ha una potenza installata di 220 kW. Per il collegamento delle utenze è stata prevista una rete di teleriscaldamento di 707 m.

L'approvvigionamento del cippato

Il cippato che alimenta l'impianto proviene da interventi di manutenzione di boschi, per lo più di conifere, e anche da interventi di abbattimento di piante effettuati dall'azienda agricola che gestisce l'impianto. Il fabbisogno in cippato risulta di 132 t/anno. La capacità del silo di stoccaggio è di circa 70 mc.

L'impianto termico

La caldaia è una Mawera, con una potenza di 220 kW. L'impianto è provvisto di un accumulo inerziale di 4.000 litri. Per l'estrazione del cippato il silo è dotato di un estrattore a braccio articolato rotante.

Impianto di Collesalvetti (LI)

Intervento effettuato

È stato realizzato da un'impresa agroforestale un impianto termico alimentato a legno cippato presso una struttura agrituristica. L'impianto è stato allestito in un modulo prefabbricato (*Biocompact*) vicino all'esistente centrale termica a GPL con lo scopo di produrre calore per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria per l'agriturismo, per un volume complessivo di circa 4.200 mc.

Il nuovo impianto ha una potenza installata di 110 kW, ed è stato collegato da una linea di teleriscaldamento di 15 metri con il vecchio impianto a gasolio. Per il collegamento con l'utenza è stata utilizzata la rete già esistente di 50 metri.

L'impresa agroforestale utilizza il cippato di propria produzione per l'alimentazione dell'impianto, gestisce l'impianto e vende l'energia termica

Impianto 2 di Monticiano (SI): dati tecnico-economici

Dati tecnico-economici	
Soggetto gestore dell'impianto	Azienda agricola in località Scalvaia (Monticiano, SI)
Marca della caldaia e modello	Mawera FU 220 RIA
Potenza della caldaia installata	220 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	707 m
Volume dei locali da riscaldare	8.270 mc
Consumo annuo di cippato	132 t
Energia termica erogata	385 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento (indicativo)	220.000,00 €

Biocompact, struttura mobile composta da vano tecnico e silo per il cippato, impianto di Collesalvetti (LI)

all'agriturismo (filiera della vendita del calore), garantendo ai gestori dell'agriturismo un risparmio rispetto all'utilizzazione del GPL, che comportava una spesa media annua di circa 22.000 €.

L'approvvigionamento del cippato

Il combustibile legnoso impiegato per l'alimentazione è il cippato di pino, con contenuto idrico medio di circa il 35%, prodotto dalla manutenzione delle pinete di pino marittimo e di pino domestico localizzate nella fascia costiera pisana, gestite dall'impresa agroforestale che ha realizzato l'impianto termico.

Il fabbisogno in cippato risulta di 40 t/anno. La capacità del silo di stoccaggio è di circa 25 mc, che garantisce circa 15 giorni di funzionamento della caldaia.

L'impianto termico

La caldaia installata è una Lindner&Sommerauer, a griglia fissa ruotante, provvista di dispositivo di pulizia automatica, con potenza di 110 kW, che garantisce il riscaldamento dell'utenza allacciata. Sul fondo del deposito del cippato si trova il sistema di estrazione, composto da un disco con due lame intercambiabili fissato su un meccanismo di trasmissione a vite. È presente un accumulo inerziale di 1.600 litri.

Per informazioni

dott. Gianfranco Nocentini
ARSIA - Agenzia Regionale per lo Sviluppo
e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale
via Pietrapiana, 30 - 50121 Firenze
e-mail: gianfranco.nocentini@arsia.toscana.it

Impianto di Collesalvetti (LI): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	impresa agroforestale in località Coltano (PI)
Marca della caldaia e modello	Lindner&Sommerauer Biocompact
Potenza della caldaia installata	110 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	50 m
Volume dei locali da riscaldare	4.200 mc
Consumo annuo di cippato	40 t
Energia termica erogata	101 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento (indicativo)	120.000,00 €

Regione Umbria

Elena Giovagnotti, Francesco Grohmann, Maria Chiara Menaguale
Regione Umbria, Servizio Foreste ed Economia montana

Con il progetto Woodland Energy la Regione Umbria si è proposta di mettere a punto un modello di filiera legno-energia che utilizzi materiale proveniente da Srf di pioppo, materiale forestale derivante da diradamenti di conifere ed eventualmente residui legnosi derivanti dalle coltivazioni agricole (olivo e vite) sotto forma di materiale cippato.

Per la messa a punto della filiera dimostrativa è stata individuata, quale struttura ideale, l'Azienda vivaistica regionale Umbraflor srl – Vivaio "Il Castellaccio", in quanto in grado di produrre massa legnosa derivante da Srf di pioppo ed eventualmente reperire dalle aziende agricole limitrofe materiale legnoso di potatura dell'olivo da destinare alla produzione di cippato per il riscaldamento di edifici produttivi (serre e magazzini), residenziali e destinati all'amministrazione (uffici).

Più precisamente il progetto ha consentito di realizzare presso tale azienda un nuovo impianto termico alimentato a cippato in sostituzione di un vecchio impianto a biomassa di produzione artigianale, attualmente non più efficiente.

La Regione Umbria, inoltre, ha organizzato nel mese di maggio 2006 due giornate dimostrative sulla raccolta e valorizzazione energetica delle potature d'olivo. La prima giornata si è svolta presso un'azienda di San Giovanni Profiamma – Foligno (PG), rappresentativa della realtà produttiva olivicola umbra, e ha visto l'intervento di alcune ditte costruttrici di mezzi meccanici che hanno realizzato vari cantieri per la raccolta di potature di olivo. Nell'occasione ricercatori del Cnr Ivalsa hanno raccolto i dati relativi ai cantieri, che hanno poi utilizzato al fine di fare valutazioni comparative per ottimizzare i tempi di lavoro e quindi i relativi costi.

Nella seconda giornata, sempre presso l'azienda sopra citata, è stata organizzata una dimostrazione di raccolta della potatura di olivo con metodologie differenti in funzione delle diverse macchine utilizzate. Inoltre al fine di divulgare tutte le fasi della filiera, presso l'Azienda Umbraflor, è stato realizzato un cantiere dimostrativo delle operazioni di trinciatura del materiale, di stoccaggio e caricamento della centrale a biomasse.

La Regione Umbria ritiene di grande importanza supportare le attività realizzate con attività di

Serre dell'Azienda vivaistica regionale Umbraflor srl, riscaldate con l'impianto termico a cippato

Caldaia alimentata a cippato presso l'Azienda vivaistica regionale Umbraflor srl, Spello (PG)

Impianto di Spello (PG): dati tecnico-economici

DATI TECNICO-ECONOMICI	
Soggetto gestore dell'impianto	Azienda vivaistica regionale Umbraflor srl – Vivaio 'Il Castellaccio'
Marca della caldaia e modello	UNICONFORT mod. BioKraft 350
Potenza della caldaia installata	464 kW
Lunghezza della rete di teleriscaldamento	600 m
Volume dei locali da riscaldare	12.000 mc
Consumo annuo di cippato	130 t
Prezzo del cippato	70 €/t
Energia termica erogata	368 MWh/anno
Costo complessivo dell'investimento	190.000.00 €

informazione e divulgazione sui risultati del progetto Woodland Energy, anche perché nel territorio regionale non vi sono grosse realtà di filiera legno-energia. Sarà, infatti, distribuito il materiale illustrativo e documentale relativo al progetto, oltre che alle aziende interessate, anche ai ragazzi delle scuole già coinvolti in passato dal Servizio Foreste ed Economia Montana in progetti di sensibilizzazione sulla gestione sostenibile del bosco e la prevenzione degli incendi boschivi. Considerata l'importanza di tali attività divulgative, nella sede dell'azienda è prevista l'installazione di pannelli informativi sulla filiera legno-energia e sui risultati della sperimentazione.

La presenza del nuovo impianto rappresenta, così, un fattore di maggiore interesse per le visite e per le giornate dimostrative che da sempre costituiscono un'attività svolta presso l'Azienda vivaistica Umbraflor srl e per la quale continuano a esserci richieste da parte degli operatori agricoli e forestali e da parte delle amministrazioni interessate al settore vivaistico-forestale a livello locale, nazionale e internazionale.

IMPIANTO DI SPELLO (PG)

Intervento effettuato

La Regione Umbria – Servizio Foreste ed Economia Montana – ha individuato nell'Azienda vivaistica regionale Umbraflor srl – Vivaio "Il Castellaccio" il sito di attività per la messa a punto di filiere dimostrative per la produzione di energia da legno. L'azienda, ha un'estensione di 530 ettari di cui 230 di proprietà dell'Ente medesimo. Ancora oggi l'azienda, nell'ambito dell'attività vivaistica, produce in buona parte piantine di pioppo (pioppelle), oltre ad altre specie arboree destinate alla forestazione e alle colture agrarie. L'azienda era dotata di un impianto di teleriscaldamento con centrale a cippato di potenza 407 kW (prototipo unico di produzione artigianale installato negli anni ottanta) e di una rete di teleriscaldamento a collegamento delle proprie strutture aziendali, per un totale di volume riscaldato pari a 12.000 mc (5 serre, 2 edifici destinati all'amministrazione, 1 edificio destinato ad abitazione).

La vecchia caldaia, non più efficiente e con problemi di guasti frequenti è stata sostituita con un nuovo impianto con potenza di 464 kW.

L'approvvigionamento del cippato

L'alimentazione della caldaia è garantita da materiale invenduto dello stesso vivaio di pioppo, da SRF di pioppo prodotto in azienda, da materiale derivante dalla potatura del verde urbano proveniente dai centri limitrofi, da materiale proveniente da diradamenti di boschi di conifere regionali e da residui legnosi derivanti dalle coltivazioni agricole (olivo e vite).

L'impianto termico

È stata installata una caldaia UNICONFORT mod. Biokraft 350, con potenzialità termica di 464 kW, completa di basamento in acciaio adatto all'installazione del bruciatore meccanico a griglia mobile. La caldaia è stata studiata e realizzata per la combustione del cippato, della corteccia e della segatura secondo le norme ONORM M 7133, con un contenuto idrico massimo del 50% e pezzatura fino 150 mm. L'alimentazione del generatore avviene tramite coclea.

Per informazioni

dott. Francesco Grohmann
d.ssa Elena Giovagnotti
d.ssa Maria Chiara Menaguale
Regione Umbria
Servizio Foreste ed Economia montana
via Mario Angeloni, 61 - 06124 Perugia
e-mail Grohmann: forestazione@regione.umbria.it
e-mail Giovagnotti: agrimontane@regione.umbria.it

Prospetto riepilogativo degli impianti termici realizzati e/o monitorati nell'ambito del progetto Woodland Energy

Regione	*Località*	*Tipo di caldaia*	*Servizi erogati*	*Volume riscaldato*
Abruzzo	Miglianico (CH)	D'Alessandro Termomeccanica CSA 300 con potenza 350 kW	riscaldamento serra	5.516 mc
Friuli V. Giulia	Budoia (PN)	Uniconfort mod. Biotec/C 60 con potenza 696 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	9.800 mc
	Pulfero (UD)	Uniconfort mod. Biotec/C 30 con potenza 348 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	6.858 mc
	Paluzza (UD)	Uniconfort mod. Dual/F 15 con potenza 174 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	3.000 mc
Lazio	Borgo Piave (LT)	HDG Bavaria Compact 200 con potenza 200 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	4.800 mc
Liguria	Campo Ligure (GE)	Uniconfort mod. Biotec 60 con potenza 700 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	23.200 mc
	Rossiglione (GE)	Uniconfort mod. Biotec 100 con potenza 1200 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	21.000 mc
Marche	Amandola (AP)	Köb Pyrot con potenza 996 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	10.000 mc
	Apiro (MC)	Uniconfort mod. BioKraft/1200 con potenza 1392 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	17.500 mc
	Esanatoglia (MC)	Metalref con potenza di 330 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	4.455 mc
Molise	Agnone (IS)	Lindner&Sommerauer Biocompact con potenza 110 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	4.146 mc
	Campobasso	Lindner&Sommerauer Biocompact con potenza 75 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	260 mc
	Montenero Val Cocchiara (IS)	Froeling Turbomatic con potenza 110 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	3.000 mc
	Montorio nei Frentani (CB)	Lindner&Sommerauer Biocompact con potenza 110 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	2.676 mc
	Trivento (CB)	D'Alessandro Termomeccanica CSA con potenza 110 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	2.800 mc
	Vastogiradi (IS)	D'Alessandro Termomeccanica CSA con potenza 130 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	1.800 mc
Sicilia	Marsala (TP)	Uniconfort Dual/F con potenza 330 kW	riscaldamento serra	2.400 mc
Toscana	Camporgiano (LU)	Köb Pyrot con potenza 540 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	7.800 mc
	Casole d'Elsa (SI)	Köb Pyrot con potenza 540 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	16.650 mc
	Cetica (AR)	Uniconfort mod. Biotec/G con potenza 350 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	12.000 mc
	Collesalvetti (LI)	Lindner&Sommerauer Biocompact con potenza 110 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	4.200 mc
	Fivizzano (MS)	Froeling Turbomat con potenza 220 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	6.300 mc
	Loro Ciuffenna (AR)	Froeling Lambdamat Ind/S 500 con potenza 500 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	16.000 mc
	Monticiano 1 (SI)	Froeling Lambdamat Ind/S 500 con potenza 500 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	3.500 mc
	Monticiano 2 (SI)	Mawera FU 220 RIA con potenza 220 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	8.270 mc
	Rincine (FI)	Froeling Lambdamat Ind/V con potenza 320 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	4.500 mc
	Torsoli (FI)	Lindner&Sommerauer con potenza 100 kW	riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria	3.000 mc
Umbria	Spello (PG)	Uniconfort mod. Biokraft 350 con potenza di 464 kW	riscaldamento ambienti, serre e magazzini e acqua calda sanitaria	12.000 mc

Per informazioni sul progetto interregionale Woodland Energy

Regione Abruzzo / ARSSA	d.ssa Rita Cianfarra ARSSA Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo - Abruzzo Ufficio di Lanciano via del Mare, 48 – 66034 Lanciano (CH) e-mail: cianfarrar@arssa-mail.it
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia	dott. Fabio Bidese Direzione centrale Risorse agricole, naturali e forestali Ispettorato Ripartimentale Foreste di Pordenone via Oberdan, 18 – 33170 Pordenone e-mail: fabio.bidese@regione.fvg.it
	dott. Emilio Gottardo Ente Tutela Pesca del Friuli Venezia Giulia via Colugna, 3 – 33100 Udine e-mail: emilio.gottardo@regione.fvg.it
Regione Lazio / ARSIAL	dott. Giuseppe Izzo, dott. Federico Sorgoni ARSIAL Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio via Rodolfo Lanciani, 38 – 00162 Roma e-mail: g.izzo@arsial.it f.sorgoni@arsial.it
Regione Liguria	dott. Carlo Marzani Regione Liguria, Dipartimento Ambiente Servizio Tutela dell'Inquinamento Atmosferico e Sviluppo dell'Energia Sostenibile via Gabriele D'Annunzio, 113 – 16121 Genova e-mail: carlo.marzani@regione.liguria.it
	ing. Luca Marigo Thermochemical Power Group - Renewables Area Manager Università di Genova, Facoltà di Ingegneria DIMSET Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti via Montallegro, 1 – 16145 Genova e-mail: luca.marigo@unige.it
Regione Marche / ASSAM	dott. Andrea Bordoni Regione Marche, Servizio Agricoltura, Forestazione e Pesca via Tiziano, 44 – 60125 Ancona e-mail: andrea.bordoni@regione.marche.it
	dott. Emilio Romagnoli ASSAM Agenzia Servizi Settore Agroalimentare delle Marche via Alpi, 21 – 60131 Ancona e-mail: romagnoli_emilio@assam.marche.it
Regione Molise	dott. Nicola Pavone, d.ssa Anna Del Riccio Regione Molise, Assessorato Agricoltura, Foreste e Pesca Produttiva Servizio Tutela forestale via Nazario Sauro, 1 – 86100 Campobasso e-mail: pavone.nicola@mail.regione.molise.it
Regione Siciliana	dott. Giuseppe Spartà Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste Dipartimento Interventi Infrastrutturali, Servizio X LEADER viale Regione Siciliana, 4600 – 90145 Palermo e-mail: gsparta@regione.sicilia.it
Regione Toscana / ARSIA	dott. Gianfranco Nocentini ARSIA Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale via Pietrapiana, 30 – 50121 Firenze e-mail: gianfranco.nocentini@arsia.toscana.it
Regione Umbria	dott. Francesco Grohmann, d.ssa Elena Giovagnotti, d.ssa Maria Chiara Menaguale Regione Umbria, Servizio Foreste ed Economia montana via Mario Angeloni, 61 – 06124 Perugia e-mail F. Grohmann: forestazione@regione.umbria.it e-mail E. Giovagnotti: agrimontane@regione.umbria.it

8. I Risultati della campagna di monitoraggio

Eliseo Antonini, Lapo Casini, Valter Francescato, Davide Pagliai
AIEL Associazione Italiana Energie Agroforestali

Introduzione

Una delle attività del progetto ha riguardato il monitoraggio di alcune centrali termiche a cippato realizzate in alcune delle regioni partner. L'obiettivo del monitoraggio è stato il reperimento di dati tecnico-economici, nella fase sia realizzativa che gestionale degli impianti, con l'intento di mettere a disposizione una serie di informazioni utili ai decisori politici, ai tecnici e ai progettisti di tali impianti. Infatti, se da un lato in Italia esistono ormai da alcuni anni numerosi impianti, dall'altro, raramente sono stati raccolti in modo sistematico dati tecnico-economici per più stagioni termiche. Perciò, a scala nazionale, è disponibile soltanto una limitata quantità di dati relativamente alle fasi di realizzazione e funzionamento delle centrali termiche a cippato di piccola e media taglia.

Al tale scopo nell'ambito del progetto è stato predisposto un protocollo di monitoraggio per la raccolta di dati, ritenuti significativi, su alcuni impianti termici a cippato individuati dalle regioni che hanno attivato questa specifica azione del progetto.

In questo capitolo riportiamo l'attività di monitoraggio svolta in impianti localizzati in Liguria e in Toscana, sui quali erano disponibili maggiori dati e informazioni.

L'attività di monitoraggio ha interessato impianti che sono entrati in funzione a partire dall'autunno 2005.

In Liguria sono stati raccolti dati per tre stagioni termiche, mentre in Toscana sono stati raccolti dati che coprono due stagioni termiche: la prima (2006-2007) è stata la stagione di avvio e di regolazione degli impianti e in alcuni casi la raccolta dati ha riguardato solo una parte dell'annata termica; la seconda stagione termica (2007-2008), invece, è risultata più significativa dal punto di vista delle informazioni raccolte ed elaborate.

I principali aspetti monitorati sono:
1. il *combustibile*: provenienza del cippato, aspetti energetici e qualitativi, logistica del conferimento
2. la *centrale termica*: consumo di cippato, consumi di energia elettrica
3. i *costi di investimento e di gestione*.

Infine, è stato selezionato un caso studio sul quale è stata fatta un'analisi tecnico-economica e sono stati riportati i principali indici finanziari dell'investimento.

Caratteristiche degli impianti monitorati

Nella *tab. 1* sono indicate le principali caratteristiche degli impianti monitorati. Si tratta di centrali termiche alimentate a cippato collegate a minireti di teleriscaldamento a servizio di utenze sia pubbliche che private. In alcuni casi la rete è stata nel tempo ampliata per allacciare nuove utenze, per altri l'ampliamento è ancora in fase di completamento.

Risultati

Il cippato

Sulla base dei dati raccolti è stato caratterizzato il cippato dal punto di vista della provenienza geografica, rispetto alla localizzazione degli impianti, delle qualità fisico-energetiche e degli aspetti logistici del conferimento.

Provenienza del cippato e consumo energetico del trasporto

Impiegando i dati rilevati nella stagione 2006-2007 è stato effettuato il calcolo della lunghezza totale del trasporto della materia prima legnosa e del cippato dal bosco all'impianto.

Tab. 1 - Principali caratteristiche degli impianti monitorati

Località	*kW*	*Lunghezza della rete (m)*	*Utenze n.*	*Volume riscaldato*
TOSCANA				
Camporgiano (LU)	540	300	2	7.800 mc
Loro Ciuffenna (AR)	500	270	4	16.000 mc
Cetica - Castel San Niccolò (AR)	350	575	12 (9 privati)	12.000 mc
Casole d'Elsa (SI)	540	100	1	16.650 mc
Monticiano (SI)	500	100	2	3.500 mc
Fivizzano (MS)	220	320	3	6.300 mc
Rincine (FI)	320	130	3	4.500 mc
LIGURIA				
Campo Ligure (GE)	700	800	3	23.200 mc
Rossiglione (GE)	1.200	1.500	4	21.000 mc

Tab. 2 - Provenienze e distanze di trasporto del cippato

Località	*Distanza media in km dal cantiere forestale al cantiere di cippatura/stoccaggio*	*Distanza media in km dal cantiere di cippatura/stoccaggio agli impianti termici (solo andata)*	*Lunghezza totale del trasporto in km (*)*
TOSCANA			
Fivizzano (MS)	30	2,5	35
Rincine (FI)	2	7	16
Cetica (AR)	6	6	18
Loro Ciuffenna (AR)	10	2	14
Monticiano (SI)	15	1	17
Casole d'Elsa (SI)	15	35	85
Camporgiano (LU)	20	2	24
LIGURIA			
Campo Ligure (GE)	3	3	9
Rossiglione (GE)	9	9	27
Valori medi	*12,22*	*7,5*	*27,22*

* Nel calcolo della lunghezza totale del trasporto è stato calcolato sia il viaggio di andata, sia il viaggio ritorno dal cantiere di cippatura/stoccaggio all'impianto termico.

Tab. 3 - Costo energetico del trasporto

Località	*Peso e volume medio del carico t*	*msr*	*Contenuto energetico medio del carico MJ*	*Consumo di gasolio per il trasporto l*	*Consumo energetico per il trasporto[1] MJ*	*Consumo energetico per il trasporto rispetto al contenuto energetico del carico (%)*
TOSCANA						
Fivizzano	3,9	17,0	56.493,26	7,0	253,19	0,45%
Rincine	2,1	10,3	26.500,82	3,2	115,74	0,44%
Cetica	7,5	32,4	90.739,12	3,6	130,21	0,14%
Loro Ciuffenna	17,7	68,7	205.363,87	2,8	101,28	0,05%
Monticiano	6,9	30,3	97.050,24	3,4	122,98	0,13%
Casole d'Elsa	3,3	14,2	35.826,17	17,0	614,89	1,72%
Camporgiano	26,7	98,8	259.200,00	4,8	173,62	0,07%
LIGURIA						
Campo Ligure	10,0	30,0	83.478,49	1,8	65,11	0,08%
Rossiglione	10,0	30,0	81.685,44	5,4	195,32	0,24%
Valori medi	*9,8*	*36,8*	*104.037,49*	*5,4*	*196,93*	*0,37%*

[1] Potere calorifico del gasolio 36,17 MJ/l.

Tab. 4 - Rapporto fra caratteristiche del cippato e tipo di generatore

Qualità cippato	*Classe di potenza (MWt)*	*Tipo di focolare*	*Sistema di alimentazione*	*Pezzatura (P)*	*Contenuto idrico (M)*	*Ceneri (A)*
A	< 0,25	fisso	coclea	P16-P45	M20-M30	1,5
B	0,25-1	fisso/semimobile	coclea	P16-P63	M20-M40	1,5-3,0
	> 1	mobile	spintore	P16-P100	M30-M55	3,0-10,0

Tab. 5 - Classi dimensionali del cippato secondo la norma UNI CEN/TS 14961

	Frazione principale > 80% del peso	*Frazione fine < 5%*	*Frazione grossolana max. lunghezza della particella*
P16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	max 1% > 45, tutte < 85 mm
P45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	max 1% > 63 mm
P63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	max 1% > 100 mm
P100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm		max 1% > 200 mm

Tab. 6 - Pezzatura del cippato presso gli impianti toscani

	Contenuto idrico del campione (M)	*Peso del campione (g)*	*Classe di pezzatura (P)*	*Lunghezza particella più lunga (mm)*	*Numero di sovralunghezze (> 100 mm)*
Fivizzano	21,4	1.476	P45	180	4
Rincine	21,7	1.432	P45	150	9
Cetica	33,4	1.261	P16	0	0
Loro Ciuffenna	29,4	1.264	—	0	0
Monticiano	20,0	1.586	P45	180	9
Casole d'Elsa	25,1	1.380	P45	145	10
Camporgiano	28,5	1.476	P45	120	2

Come mostra la *tab. 2* in tutti gli impianti monitorati la provenienza del cippato è locale; la lunghezza media del trasporto dal bosco alla centrale termica è inferiore ai 30 km e scende a 20 km se si esclude il dato di Casole.

Per il calcolo del consumo energetico del trasporto, si è fatto riferimento al solo costo energetico del gasolio consumato dai mezzi di trasporto, che mediamente è stato di 5 km/l.

Come mostra la *tab. 3* il consumo energetico medio per il trasporto in rapporto al contenuto energetico medio del carico di cippato è lo 0,37% e scende allo 0,2% se si esclude il dato di Casole d'Elsa. In riferimento a Casole va detto che – nel corso delle due stagioni di monitoraggio – il trasporto del cippato è stato effettuato con un mezzo comunale non idoneo al trasporto del cippato. Successivamente il Comune ha affidato la fornitura a un'azienda agricola di Monticiano (SI), che conferisce il cippato con un mezzo di capacità quattro volte superiore (12 t). Questa ottimizzazione porterà l'incidenza energetica del trasporto allo 0,4%.

Qualità fisico-energetiche del cippato

Le principali caratteristiche qualitative del cippato ad uso energetico sono la pezzatura, il contenuto idrico e le ceneri. I requisiti qualitativi del cippato dipendono dal tipo e dalla classe di potenza dei generatori termici in cui sono impiegati.

La *tab. 4* mostra un quadro indicativo del rapporto tra caratteristiche qualitative del cippato e tipo di generatore.

Le caratteristiche qualitative del cippato sono definite dalla norma UNI CEN/TS 14961 (*tab. 5*).

La *pezzatura* è la dimensione prevalente delle singole schegge. Le caldaie con sistemi di caricamento a coclea necessitano generalmente di cippato P16 e P45.

Nel corso della stagione di monitoraggio 2007-2008 è stato effettuato un controllo della pezzatura del cippato presso gli impianti toscani. I risultati sono riassunti in *tab. 6*.

Solo nel caso di Loro Ciuffenna la somma delle masse delle varie frazioni non raggiungeva la soglia minima dell'80% della massa totale, richiesta dalla normativa per classificare il materiale come cippato (*fig. 1*); nella fattispecie il cippato risultava di pezzatura eccessivamente fine.

La pezzatura del cippato è funzione del *tipo di materiale di partenza* (ramaglie, cimali, tronchi) e del *tipo di cippatrice* impiegata, che deve essere quindi scelta in funzione della classe di pezzatura che si

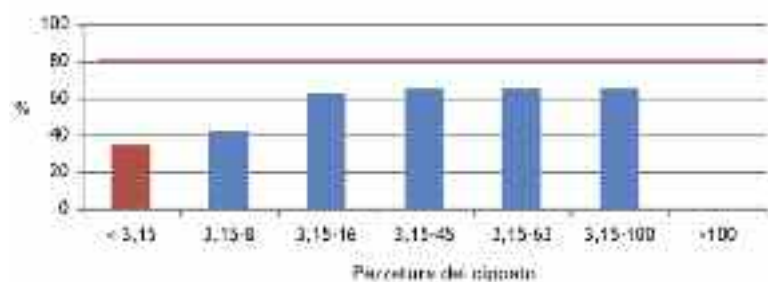



Fig. 1 - Nel caso di Loro Ciuffenna la somma delle masse delle varie frazioni non raggiungeva la soglia minima dell'80% della massa totale, richiesta dalla normativa per classificare il materiale come cippato

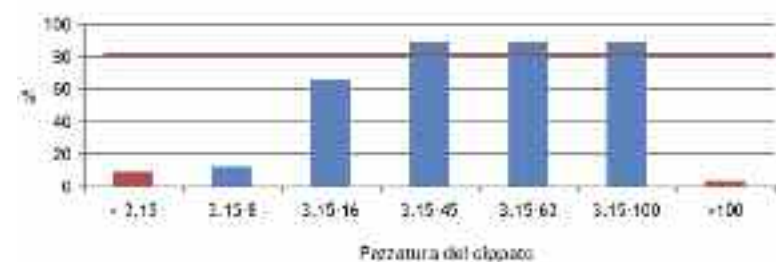



Fig. 2a - Caratteristiche dimensionali del cippato a Casole (P45)

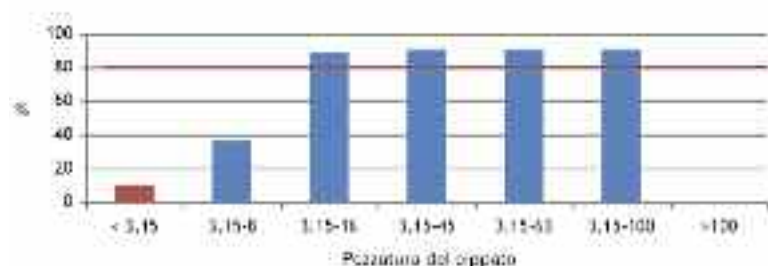



Fig. 2b - Caratteristiche dimensionali del cippato a Cetica (P16)

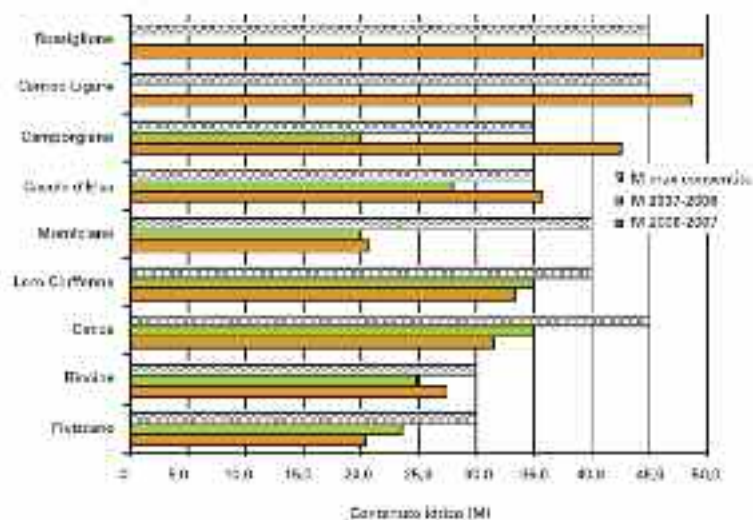
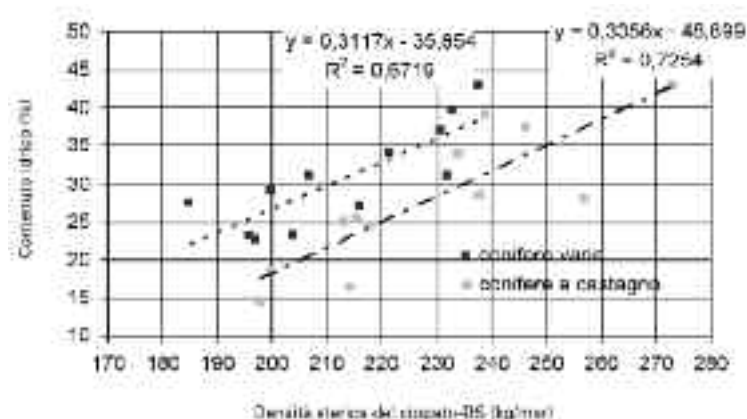



Fig. 3 - Valori medi del contenuto idrico del cippato negli impianti monitorati

Vaglio per la misurazione della pezzatura del cippato

Fig. 4 - Relazione tra Contenuto idrico (M) e densità sterica (DS) in due tipi di cippato

vuole ottenere. Un cippato troppo fine può determinare un aumento della produzione di polveri a causa della elevata volatilità del combustibile.

Il *contenuto idrico del cippato*, ovvero la percentuale di acqua contenuta rispetto al peso fresco, nelle caldaie a griglia fissa non deve superare il 30% (M30 o W30), mentre le caldaie a griglia mobile tollerano valori più elevati.

Inoltre, il limite M30 viene definito come *limite di idoneità allo stoccaggio* del cippato. Lo stoccaggio di cippato umido comporta una perdita di sostanza legnosa più o meno elevata – in funzione delle condizioni di stoccaggio – e il peggioramento delle condizioni igienico-sanitarie, a causa della formazione di funghi nel corso dei processi di degradazione biologica. La *fig. 3* mostra un confronto tra i valori medi – ponderati rispetto al peso dei carichi – del contenuto idrico del cippato rilevati in ciascun impianto e il valore massimo consentito dalla casa costruttrice dei generatori.

Negli impianti liguri e a Camporgiano il valore medio è risultato superiore a quello massimo consentito. Nel caso di Camporgiano la situazione è migliorata significativamente nell'ultima annata termica.

Oltre al contenuto idrico è stata rilevata anche la densità sterica del cippato (DS in kg/msr).

La *fig. 4* mostra il rapporto tra contenuto idrico (M) e densità sterica del cippato ottenuto da conifere varie (abete, pino) e da conifere miste a castagno. A parità di contenuto idrico, la presenza del castagno contribuisce ad aumentare la densità sterica del cippato e quindi anche il contenuto energetico dell'unità volumetrica (msr).

Logistica del conferimento e consumi di cippato

Le *tabb. 7* e *8* riportano un quadro di sintesi dei consumi di cippato registrati negli impianti monitorati nelle due stagioni termiche considerate.

Il primo settore delle tabelle mostra il valore medio – sia ponderale che volumetrico – di ciascun carico e la frequenza del conferimento. Sono poi riportati i valori di consumo stagionale e giornalieri. Infine, è stata calcolata la percentuale media di riempimento del silo con i carichi effettuati.

Come si osserva, in alcuni impianti è necessario ottimizzare la logistica di conferimento.

Tab. 7 - Consumi del cippato per gli impianti monitorati (dati 2006-2007)

	Valori medi			*Totali*		*Valori medi consumo*		*Num. giorni monitoraggio*	*Riempimento del silo*
	intervallo di carico	*peso carico*	*volume carico*	*peso*	*volume*				
	giorni	*t*	*msr*	*t*	*msr*	*t/g*	*msr/g*	*g*	*%*
Fivizzano	13	3,9	17,0	55,2	260,4	0,34	1,49	175	34
Rincine	8	2,1	10,3	41,2	206,2	0,30	1,48	151	26
Cetica	18	7,5	32,4	120,7	518,2	0,48	2,04	227	40
Loro Ciuffenna	17	17,7	68,7	159,4	618,0	0,88	3,41	162	76
Monticiano	31	6,9	30,3	48,1	212,1	0,23	1,03	157	34
Casole d'Elsa	7	3,3	14,2	22,8	99,3	0,40	1,72	148	24
Camporgiano	47	26,7	98,8	80,0	296,3	0,46	1,71	120	90
Campo Ligure	3,6	10,0	30,0	471,5	1.410,0	2,60	7,80	180	75
Rossiglione	3,2	10,0	30,0	552,8	1.650,0	3,10	9,20	180	75

Tab. 8 - Consumi del cippato per gli impianti monitorati (dati 2007-2008)

	Valori medi			*Totali*		*Valori medi*		*Num. giorni*	*Riempimento*
	intervallo di carico	*peso carico*	*volume carico*	*peso*	*volume*	*consumo*		*monitoraggio*	*del silo*
	giorni	*t*	*msr*	*t*	*msr*	*t/g*	*msr/g*	*g*	*%*
Fivizzano	10	3,9	16,7	59,2	281,9	0,4	1,6	157	33
Rincine	12	5,0	20,2	65,6	262,2	0,4	1,7	155	50
Loro Ciuffenna	17	21,4	93,2	235,7	1.024,7	1,2	5,4	190	100
Casole d'Elsa	11	3,9	11,4	61,0	228,5	0,6	2,1	156	20
Camporgiano	51	21,3	86,1	175,7	458,9	0,6	2,9	256	80
Campo Ligure	3,6	10,0	30,0	376,2	1.140	2,6	7,8	180	75
Rossiglione	3,2	10,0	30,0	475,2	1.440	3,1	9,2	180	75

È molto importante impiegare un mezzo idoneo per il trasporto e lo scarico del cippato nel silo; diversamente si ha un'eccessiva frequenza di carico e quindi una maggiore incidenza del costo del combustibile.

Nei grafici delle *figg. 5 e 6* sono stati messi a confronto i consumi degli impianti monitorati, calcolando anche il monte d'energia primaria del cippato. Si osserva come sia migliorato il livello d'utilizzazione degli impianti nella seconda stagione.

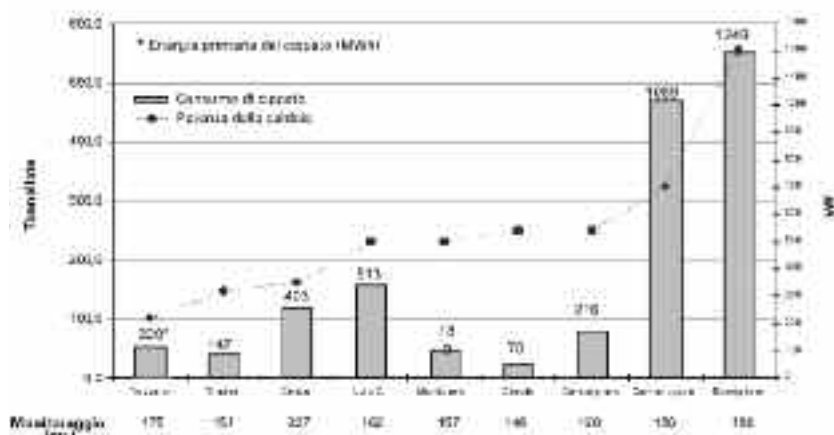



Fig. 5 - Consumi medi degli impianti monitorati (dati 2006-2007)

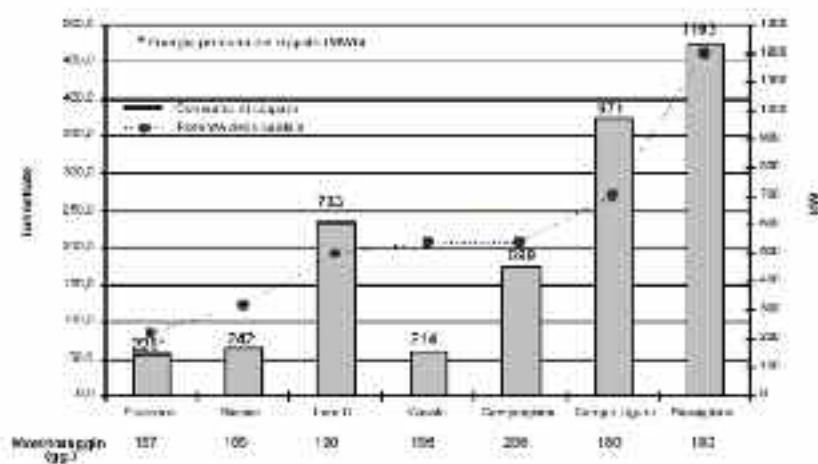



Fig. 6 - Consumi medi degli impianti monitorati (dati 2007-2008)

CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA

Il consumo elettrico è stato rilevato per mezzo di contabilizzatori dedicati, mentre i costi sono quelli relativi alle bollette. La *tab. 9* riporta un quadro di sintesi dei dati rilevati.

Spesso il consumo elettrico degli impianti a cippato di piccola-media taglia è sottovalutato nella fase progettuale, tuttavia i dati raccolti dimostrano che questo elemento può risultare determinante sulla sostenibilità economica dell'investimento. È quindi molto importante – nella fase progettuale – l'ottimizzazione dei consumi elettrici, che sono legati soprattutto al sistema di distribuzione. È fondamentale limitare quanto più possibile il consumo elettrico che – nelle situazioni "normali" dovrebbe rappresentare massimo il 5-10% dell'investimento medio annuo, ovvero della sommatoria dei costi operativi e dei costi annui del capitale investito.

La *tab. 10* mette in evidenza il rapporto tra la spesa annua per l'acquisto/autoproduzione del cippato e la spesa elettrica per il funzionamento dell'impianto. Si possono osservare forti differenze riconducibili in parte al basso utilizzo dell'impianto, in parte all'eccessivo consumo elettrico in rapporto all'energia termica erogata e in parte anche al ridotto costo del cippato nel caso in cui sia autoprodotto.

CARATTERISTICHE E COSTI DELLE RETI DI TELERISCALDAMENTO

La *tab. 11* mostra un quadro di sintesi delle caratteristiche delle reti di teleriscaldamento collegate alle centrali termiche e i relativi costi.

Nella progettazione della rete è molto importante contenere il rapporto tra la sua lunghezza e la potenza del generatore.

Il *rapporto di 2 m di rete per kW installato* può essere considerato come valore massimo indicativo, almeno per le minireti di teleriscaldamento.

Tab. 9 - Quadro di sintesi del consumo elettrico rilevato in alcuni impianti

	Consumo di energia elettrica	*Periodo di riferimento*	*Costi per energia elettrica*	*Potenza elettrica*	*Potenza termica*
	kWhel/anno		*€/anno*	*kWel*	*kWt*
Camporgiano	14.242	nov. 2006 - apr. 2007	2.564	12	540
	15.283	ott. 2007 - apr. 2008	2.751		
Loro Ciuffenna	4.317	nov. 2006 - apr. 2007	777	12	500
	5.913	ott. 2007 - apr. 2008	1.064		
Cetica	24.960	nov. 2006 - mag. 2007	4.493	12	350
	52.093	giu. 2007 - apr. 2008	9.377		
Monticiano	8.204	ott. 2006 - mag. 2007	1.477	12	500
	9.960	giu. 2007 - apr. 2008	1.793		
Fivizzano	10.154	nov. 2006 - sett. 2007	1.828	10	220
	14.039	ott. 2007 - apr. 2008	2.527		
Rincine	6.480	ott. 2007 - apr. 2008	1.166	16,5	320
Campo Ligure	28.102	ott. 2005 - apr. 2006	5.104	—	700
	29.805	ott. 2006 - apr. 2007	5.365		
Rossiglione	44.921	ott. 2005 - apr. 2006	8.480	—	1.200
	48.733	ott. 2006 - apr. 2007	8.772		

Tab. 10 - Rapporto tra spesa per cippato e spesa per energia elettrica (2007-2008)

	Spesa annua per cippato (A) €/anno	*Spesa annua per energia elettrica (B)* €/anno	*Rapporto B/A* %
Camporgiano	8.697	2.751	31,6%
Loro Ciuffenna	15.556	1.064	6,8%
Fivizzano	4.558	2.527	55,4%
Rincine	2.296	1.166	50,8%
Campo Ligure	33.000	5.365	16,3%
Rossiglione	38.696	8.772	22,7%

Tab. 11 - Caratteristiche delle reti di teleriscaldamento monitorate

	Potenza	*Lunghezza rete*	*Utenze*	*Rete per kW*	*Rete per utenza*	*Costo rete*	*Costo unitario rete*
	kWt	*m*	*n.*	*m*	*m*	*€*	*€*
Camporgiano	540	300	2	0,56	150	51.000	170,00
Loro Ciuffenna	500	270	4	0,54	68	90.000	333,33
Cetica	350	575	12	1,64	38	36.277	63,09
Casole d'Elsa	540	100	1	0,19	100	25.000	250,00
Monticiano	500	100	2	0,20	50	30.280	302,80
Fivizzano	220	320	3	1,45	107	—	—
Rincine	320	130	3	0,41	43	19.300	148,46
Campo Ligure	700	800	5	1,14	160	—	—
Rossiglione	1.200	1.500	4	1,25	375	—	—

Tab. 12 - Costi complessivi degli impianti e al netto del contributo

		Investimento totale	*Costo*	*Investimento netto*	*Costo*	*Contributo**
	kW	*€*	*€/kWh*	*€*	*€/kWh*	*%*
Camporgiano	540	285.000	527,8	85.000	157,4	70,2%
Loro Ciuffenna	500	337.855	675,7	229.741	459,5	32,0%
Cetica	350	213.185	609,1	106.185	303,4	50,2%
Casole d'Elsa	540	351.754	651,4	203.381	376,6	42,2%
Monticiano	500	335.024	670,0	175.024	350,0	47,8%
Fivizzano	220	143.000	650,0	104.000	472,7	27,3%
Rincine	320	153.900	480,9	7.500	31,3	93,5%
Valori medi			*609,3*			

* Contributo derivante da varie fonti di finanziamento (europee, nazionali e locali).

Costi degli impianti

Nella *tab. 12* si riportano i costi complessivi degli impianti e quelli al netto del contributo pubblico, determinando per entrambi il costo unitario per kW termico installato.

Costi di manutenzione e guasti

I costi di manutenzione consistono nelle operazioni di pulizia ordinaria e nello smaltimento delle ceneri, che avvengono mensilmente, oltre alla manutenzione straordinaria, che è invece eseguita

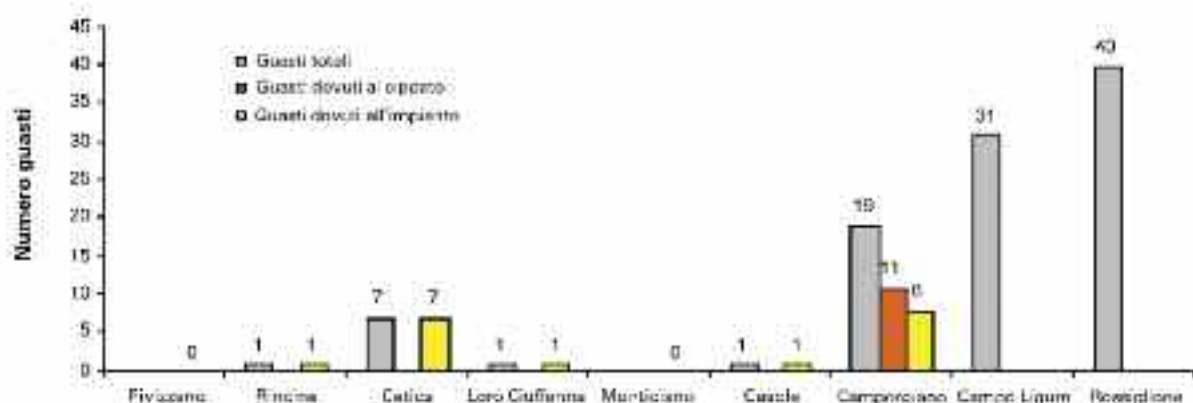



Fig. 7 - Numero di guasti rilevati nella stagione 2006-2007 causati dalla non idonea qualità del cippato o dall'impianto

una volta all'anno, prima dell'inizio della stagione termica. La *tab. 13* indica i costi rilevati in alcuni degli impianti monitorati.

Naturalmente, la qualità del cippato incide in modo significativo su tali costi. L'uso di cippato non idoneo aumenta la frequenza degli interventi di pulizia e gli eventuali blocchi dell'impianto.

Per esempio, nella stagione 2006-2007 a Camporgiano e presso gli impianti liguri la non idonea qualità del cippato (eccessivo contenuto idrico e presenza di scaglie fuori misura) ha causato numerosi fermi degli impianti (*fig. 7*). Nel caso di Camporgiano, l'ottimizzazione della filiera d'approvvigionamento e della gestione complessiva dell'impianto ha azzerato i fermi nella stagione 2007-2008.

Analisi tecnico-economica di un caso esempio: Loro Ciuffenna

Dati dell'impianto

L'impianto è entrato in funzione nel settembre 2006 quindi ha erogato energia per due annate termiche, 2006-2007 e 2007-2008.

Alcuni dati qui utilizzati (ad esempio, consumo e spesa per il cippato, consumo e spesa di energia elettrica, spese di gestione e manutenzione annua) si riferiscono alla seconda annata termica che si considera più rappresentativa rispetto a quella precedente, nella quale sono state apportate progressivamente delle regolazioni per migliorare il funzionamento dell'impianto nel suo complesso (*tab. 14*).

Le utenze servite sono:

- sede della Comunità Montana
- scuole elementare e materna
- scuola media e mensa
- micronido.

La spesa per il riscaldamento delle utenze, nelle annate precedenti era di circa 43.000 € che – considerati gli ampliamenti degli ultimi 2 anni – si attesterebbe a circa 54.000 €/anno. Nella *tab. 15* sono riportati i dati relativi all'energia termica erogata nel corso delle due annate termiche monitorate.

Costo di produzione dell'energia termica prodotta

Per il calcolo del costo dell'energia, si è considerato una durata tecnico-economica della caldaia di 17 anni, incluso il sistema di estrazione e gli accessori termomeccanici. Nel calcolo si è considerato anche il valore residuo delle opere, tra cui il silo del cippato, la rete di teleriscaldamento e l'impianto idraulico ed elettrico, i quali hanno almeno una durata doppia rispetto alla caldaia.

Per determinare il costo di produzione dell'energia termica erogata sono stati considerati anche i costi annui per la gestione e la manutenzione – inclusi quelli per lo smaltimento delle ceneri e per l'energia elettrica.

L'energia termica erogata alle utenze e il relativo costo unitario è riportato nella *tab. 15*.

Tab. 13 - Costi di manutenzione degli impianti monitorati

Costi di manutenzione ordinaria e straordinaria (2007-2008)	*kW*	*€/anno*
Camporgiano	540	1.400
Loro Ciuffenna	500	1.000
Casole d'Elsa	540	1.400
Monticiano	500	1.900
Fivizzano	220	2.000
Rincine	320	1.000

Tab. 14 - Dati di sintesi dell'impianto di Loro Ciuffenna (2007-2008)

Potenza nominale della caldaia	500 kW	Spesa annua per il cippato	15.556 €
Lunghezza della rete	270 m	Consumo di energia elettrica	5.913 kWh/anno
Sottostazioni	4	Spesa per energia elettrica	1.064 €/anno
Volumetria servita	16.000 mc		
Quantità di cippato	235,7 t/anno	*Investimento netto*	*229.741,00 €*

Tab. 15 - Energia termica erogata e costo dell'energia utile

	Cippato (t/anno)	*MWh termici erogati*	*€/MWh*
Annata termica 2006-2007	159,4	496,4	36,3
Annata termica 2007-2008	235,7	603,6	38,6

Tab. 16 - Voci di costo che concorrono a determinare il costo dell'energia

	Annata termica 2006-2007		*Annata termica 2007-2008*	
Voci di costo	*€/MWh*	*%*	*€/MWh*	*%*
Quota reintegra capitale	10,7	29,3	8,8	22,7
Spesa per il cippato	21,2	58,4	25,8	66,8
Manutenzione e gestione	1,8	5,0	1,5	3,9
Spesa per energia elettrica	2,0	5,5	1,8	4,6
Smaltimento delle ceneri	0,6	1,8	0,8	2,0
Totale	*36,3*	*100*	*38,6*	*100*

Contributo delle voci di costo

Rispetto alle due annate termiche, il valore assoluto e la componente percentuale delle singole voci di costo che concorrono alla formazione del costo dell'energia sono indicate in *tab. 16*.

Integrazione con altre fonti rinnovabili

Per coprire il fabbisogno di energia elettrica dell'impianto e a supporto della produzione di acqua calda sanitaria nel periodo estivo, sono stati installati due sistemi a energia solare dei quali si riassumono le caratteristiche principali.

Impianto fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico installato a partire da novembre 2007, ha una potenza di 3 kW; la produzione di energia elettrica è stimata in 4.000 kWh/anno.

L'impianto è funzionante con la formula del conto energia. A fronte di un investimento iniziale di 20.900 € (omnicomprensive) si prevede per l'Amministrazione un ricavo annuo – derivante dalla cessione dell'energia prodotta – di circa 1.900 €, a cui si deve aggiungere la detrazione di spesa e l'energia prodotta rispetto all'energia consumata – che in termini di mancata spesa è quantificabile in circa 700 €/anno.

La produzione elettrica annua dell'impianto si ritiene quindi possa ricoprire circa il 90% del consumo annuo di energia elettrica della centrale termica e della rete di teleriscaldamento.

Impianti solari termici

Questi impianti servono per la produzione di acqua sanitaria nel periodo estivo e hanno le seguenti caratteristiche:

- 4 pannelli di 2,6 mq ciascuno (10 mq complessivi) per la Comunità Montana;
- 3 pannelli di 2,6 mq ciascuno (8 mq complessivi) per le scuole elementare e materna;
- 3 pannelli di 2,6 mq ciascuno (8 mq complessivi) per il micronido.

La centrale termica è dotata di un volume di accumulo inerziale di 10.000 litri (20 l/kW) e di un bollitore per l'acqua sanitaria di 1.000 litri.

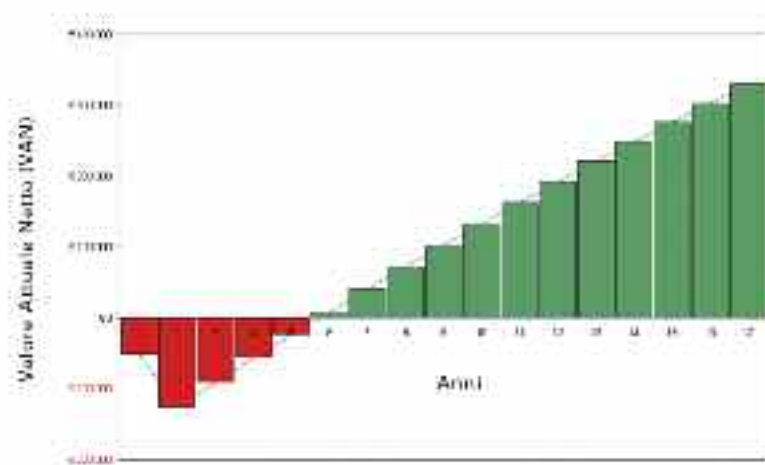



Fig. 8 - Andamento del Valore Attuale Netto e tempo di ritorno finanziario dell'investimento

Rendimento medio stagionale dell'impianto

Per l'annata termica 2007-2008 il rendimento medio stagionale dell'impianto – ovvero il rapporto tra l'energia primaria introdotta nell'impianto con il cippato (733 MWh) e l'energia termica erogata alle utenze (603 MWh) – è stato dell'82,4%.

Valutazione finanziaria dell'investimento (con finanziamento)

In un arco temporale di 17 anni è stato calcolato, anno per anno, il Valore Attuale Netto (VAN) utilizzando un saggio di sconto del 2,0% (questo valore del saggio di utilizzazione è praticabile per gli Enti pubblici, mentre nel caso dei soggetti privati può variare dal 5 al 7%). L'esborso finanziario dell'investimento è stato sostenuto nel primo e nel secondo anno, ovvero in parte nel momento in cui sono stati ordinati i materiali termomeccanici e in parte in seguito al collaudo dell'impianto. Il confronto tra i flussi di cassa è stato fatto rispetto alla situazione precedente, contemplando i mancati costi per la sostituzione di due caldaie. L'altra voce importante di mancato costo è derivata della spesa per il metano, che si utilizzava precedentemente.

Per i primi cinque anni (colonne rosse), vi è un'esposizione finanziaria dell'Amministrazione (*fig. 8*); il tempo di ritorno finanziario dell'investimento è di 6 anni. Il Valore Attuale Netto al 17° anno è di 330.000 €, mentre il Saggio di Rendimento Interno (SRI) allo stesso anno è del 24,9%.

Bibliografia

Aa.vv. (2001) - *Studio per la valorizzazione energetica dei residui colturali arborei in Calabria e Sicilia.* Soat n. 21, Catania.

Aa.vv. (2004) - *Planungshandbuch, erarbeitet von der Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke.* Holzenergie Schweiz.

Adiconsum (2002) - *Energia dal legno.*

Al Afas N., Marron N., Van Dongen S., Laureysens I., Ceulemans R. (2008) - *Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years).* Forest Ecology and Management, 255: 1883-1891.

Arsial (2007) - *La filiera dei biocombustibili solidi nella Regione Lazio. Progetto dimostrativo per la valorizzazione delle fasce frangivento nella Pianura Pontina.* Programma Nazionale Biocombustibili ProBio.

Badji L., Collin X., Francescato V., Antonini E., Paniz A. (2006) - *La Filiera Legno-Energia. ProAere Progetti dell'Agricoltura per le Energie Rinnovabili in Europa.* Cipaat Toscana.

Baldini S., Spinelli R. (1992) - *Utilizzazione di un ceduo quercino in stazione pianeggiante.* Cellulosa e Carta, 1: 33-41, Roma (IT).

Bauen A., Woods J., Hiles R. (2004) - *Biopowerswitch, a biomass blueprint to meet 15% of Oedec electricity demand by 2020.* Wwf International and Aebios.

Benassi A., Ferrario M., Sansone M., Susanetti L. (2005) - *Polveri sottili e qualità dell'aria, la situazione in Veneto e in Italia.* Legno Energia, 3/2005: 38-41.

Bernetti I., Fagarazzi C. (2003) - *BioSit: una metodologia per lo sfruttamento efficiente e sostenibile della "risorsa biomassa" a fini energetici.* Deart, Dipartimento di Economia Agraria e delle Risorse Territoriali, Università degli Studi di Firenze.

Berti S., Piegai F., Verani S. (1989) - *Manuale d'istruzione per il rilievo dei tempi di lavoro e delle produttività nei lavori forestali.* Quaderni dell'Istituto di Tecnologia e Assestamento Forestale, Università degli Studi di Firenze, Fascicolo IV.

Bianchi M., La Marca O. (1984) - *I cedui di cerro della Provincia di Viterbo. Ricerche dendrometriche e alsometriche in relazione a una ipotesi di matricinatura intensiva. Ricerche sperimentali di dendrometria e auxometria.* Tipografia il Sedicesimo, Firenze.

Bonari E., Galli M.A., Piccioni E. (2005) - *Le funzioni agroecologiche delle colture "dedicate" ad uso energetico.* In *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto BioEnergy Farm,* Quaderno Arsia 6/2004, pp. 79-85.

Bonari E. (2005) - *Risultati produttivi del pioppo da biomassa.* Terra e Vita, 10: 69-73.

Bonari E., Picchi G. (2004) - *Poplar short rotation coppice behaviour under different harvesting treatments.* 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Roma.

Bonari E., Picchi G., Ginanni M., Guidi W., Piccioni E., Fraga A., Villani R. (2005) - *Le colture da energia.* In *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto BioEnergy Farm,* Quaderno Arsia 6/2004, pp. 29-78.

Brunori A. (2008) - *Legno ed Energia.* Edagricole.

Caccia C. (2005) - *L'impatto ambientale del riscaldamento a legna.* Legno Energia, 1/2005: 32-35.

Cantiani P., Spinelli R. (1996) - *Conversion to high forest of Turkey oak coppices: technical and economical assesment of the first conversion stage.* Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, vol. 27: 191-200, Arezzo.

Castellani C., Ghidini G., Tosi V. (1982) - *Tavole dendrometriche e alsometriche del pino d'Aleppo (*Pinus halepensis *Mill.) valevoli in Italia.* Annali dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura, vol. VIII: 3-44.

Cebb Centro di Eccellenza per la Bioenergie in Basilicata (2006) - *Il teleriscaldamento di Castronuovo di Sant'Andrea (PZ).* Itabia.

Cotana F., Costarelli C. (2005) - *Impianti sperimentali per il recupero energetico di potature di vite, olivo e frutteti.* CRB, Perugina, 20 pp.

CTI COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO (2003) - *Raccomandazione del Comitato Termotecnico Italiano sui biocombustibili solidi: specifiche e classificazione.* SC09, 2003 R03/01, Milano, 54 pp.

CUCHET E., NATI C., ROUX P., SPINELLI R. (2003) - *Test of the small-stem feller-buncher Timberjack 730.* For energy Report IRL06, 15 pp.

CURRÒ P., VERANI S. (1989) - *Prove di primo diradamento meccanizzato di piantagioni di* Pinus radiata *e* Pseudotsuga menziesii. Quaderni di ricerca. Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale/Istituto di Sperimentazione per la pioppicoltura, n. 23, 23 pp.

DEL MASTRO R. (1991) - *Trinciasarmenti OMARV TF 260 e TF 220.* Rapporto n. 310, CNR, Istituto per la Meccanizzazione Agricola, Torino.

DI BLASI C., TANZI V., LANZETTA M. (1997) - *A study on the production of agricultural residue in Italy.* Biomass and Bioenergy, vol. 12, 5: 321-331.

ECCHER A., FUSARO E., RIGHI F. (1982) - *Primi risultati di prove a dimora sui pini mediterranei della sezione* halepensis, *con particolare riferimento a* Pinus eldarica *Medw*. Cellulosa e Carta, 33 (3): 3-30.

FRANCESCATO V. (2007) - *Combustione del legno e polveri fini. Fattori di emissione ed effetti sulla salute delle moderne caldaie di piccola e media taglia.* Sherwood, Foreste e Alberi oggi, n. 133, maggio 2007.

FRANCESCATO V., ANTONINI E., PANIZ A., GRIGOLATO S. (2007) - Vitis *Energetica, valorizzazione energetica dei sarmenti di vite in provincia di Gorizia.* L'Informatore Agrario, 10.

FRANCESCATO V., ANTONINI E., CASINI L., NOCENTINI G., STRANIERI S. (2007) - *Le minireti di teleriscaldamento a cippato in toscana, l'esperienza dei GAL toscani.* ARSIA Regione Toscana.

FUSARO E. (1986) - *Contributo alla conoscenza di promettenti provenienze di pino d'Aleppo della Grecia Orientale.* CIHEAM - Options Mediterranéennes, 1: 99-108.

GALLI M.A., PAMPANA S. (2004) - *Le fonti rinnovabili per la produzione di energia: il ruolo delle biomasse.* In *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto BioEnergy Farm,* Quaderno ARSIA 6/2004, pp. 11-27.

GIORDANO G. (1988) - *Tecnologia del Legno.* UTET, Torino, vol. III: 896-897.

GIORDANO G. (1986) - *Tecnologia del Legno.* UTET, 5 voll.

GUARELLA P. (1994) - *Raccolta e condizionamento in balle di residui di potatura di vite e olivo.* Ingegneria Agraria, 39: 29-41.

HARTMANN H. (HRSG.) (2007 - 2nd edition) - *Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen.* Sonderpublikation des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow (DE).

HIPPOLITI G. (1990) - *Le utilizzazioni forestali.* CUSL, Firenze.

ISTAT (2002) - *V Censimento Generale dell'Agricoltura.* http://censagr.istat.it.

ITABIA, MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO (2004) - *Le biomasse per l'energia e l'ambiente. Rapporto 2003.*

ITABIA, MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO (2009) - *Traguardi della bioenergia in Italia*, *Rapporto 2008.*

JONAS A., HANEDER H., FURTNER K. (2005) - *Energie aus Holz.* Landwirtschaftskammer Niederösterreich, St. Pölten (AT).

LA MARCA O., LA MARCA D. (1996) - *Ricerche sulle pinete di pino d'Aleppo del Gargano.* Legno Cellulosa e Carta, 4: 2-14.

LARAIA R., RIVA G., SQUITIERI G. (2001) - *I rifiuti del comparto agroalimentare. Studio di settore.* Rapporto ANPA n. 11/2001, 149 pp.

LOMBARDI P. (1998) - *Le foreste in Europa: prospettive di sostenibilità.* I Dossier di "Attenzione", Rivista WWF-per l'ambiente e il territorio, 12: 7-9.

LOO VAN S., KOPPEJAN J. (2003) - *Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing.* Twente University Press (NL).

LOVREGLIO L., LEONE V. (1999) - *Stima della mortalità post-incendio in* Pinus halepensis *Mill.* Legno Cellulosa e Carta, 3/4: 20-26.

MASIERO M. (2006) - *Pellet e certificazione FSC: stato dell'arte e opportunità future.* Legno Energia, 1/2006: 27-31.

MAZZONCINI M., BONARI E. (2007) - *Gli aspetti agronomici ed ambientali delle filiere agro-energetiche.* Agriforenergy, gennaio-aprile 2007: 33-39.

MEZZALIRA G., BROCCHI COLONNA M., VERONESE M. (2003) - *Come produrre energia dal legno.* Quaderno ARSIA 3/2003, Regione Toscana.

MIYATA E.S. (1980) - *Determining fixed and operating costs of logging equipment. General Technical Report NC-55.* Forest Service North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN, 14 pp.

MOSCATELLI M., LAGOMARSINO A., DE ANGELIS P., GREGO S. (2008) - *Short- and medium-term contrasting effects of nitrogen fertilization on C and N cycling in a poplar plantation soil.* Forest Ecology and Management, 255: 447-454.

MOSCATELLI M., PETTENELLA D., SPINELLI R. (2007) - *Produttività e costi della lavorazione meccanizzata dei cedui di castagno in ambiente appenninico.* Forest@ 4 (1): 51-59.

NATI C., SPINELLI R., MAGAGNOTTI N., VERANI S. (2007) - *Dalle potature di olivo biomassa per usi energetici.* L'Informatore Agrario, 2/2007.

NUSSBAUMER T., KIPPEL N., OSER M. (2005) - *Effetti sulla salute umana degli areosol prodotti dalla combustione del legno. Confronto con il particolato delle auto diesel e test di citotossicità.* Legno Energia, 2/2005: 25-30.

NUSSBAUMER T. (2007) - *Valutazione tecnico-economica della separazione del particolato negli impianti di combustione*

automatizzati a legna con potenza compresa fra 100 kW e 2 MW. Agriforenergy, gennaio-aprile 2007: 49-50.

OLSEN E., HOSSAIN M., MILLER M. (1998) - *Statistical comparison of Methods Used in Harvesting Work Studies.* OSU FRL Research Contribution 23, Corvallis, Oregon, 41 pp.

PARI L., CUTINI M. (2002) - *La raccoglitrinciatrice sposa l'olivo.* Olivo e olio, 7: 22-26.

PETTENELLA D., CICCARESE L., SPEZZATI E. (2003) - *Le biomasse legnose: un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia.* APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici. Rapporti (30).

PICCIONI E., BONARI E. (2006) - *SRF di pioppo nella pianura litoranea toscana. Principali risultati di alcune esperienze a lungo periodo.* Sherwood, 128: 31-36.

PIEGAI F. (2005) - *Tagli di utilizzazione e avviamento nei cedui quercini.* Sherwood, 117: 5-9.

PROE M., CRAIG J., GRIFFITHS J. (2002) - *Effects of spacing, species and coppicing on leaf area, light interception and photosynthesis in short rotation forestry.* Biomass and Bioenergy, 23: 315-326.

PUTTOCK D. (1987) - *The economics of collecting and processing whole-tree chips and logging residues for energy.* Forest Products Journal, 6: 15-20.

RECCHIA L., VIERI M., CINI E., RIMEDIOTTI M., DAOU M. (2006) - *TRP-RT Nobili, innovativa trinciaraccoglitrice.* Macchine e Motori Agricoli, 2: 53-55.

REGIONE EMILIA ROMAGNA (2008) - *Recupero dei boschi in Appennino.*

RETE LEADER (2008) - *Bioenergie rurale - Analisi e valutazione delle biomasse a fini energetici nei territori rurali.*

RIVA G., ALBERTI M. (2008) - *Il controllo e la certificazione delle emissioni in impianti a legna.* www.ambientediritto.it

SAMUELSSON J., GUSTAFSSON L., INGELOG T. (1994) - *Dying and dead trees: a review of their importance for biodiversity.* Swedish theatened species unit, Uppsala.

SAS INSTITUTE INC. (1999) - *StatView Reference.* SAS Publishing, Cary, NC.: 84-93.

SIMS R., MAIAVA T., BULLOCK B. (2001) - *Short rotation coppice tree species selection for woody biomass production in New Zealand.* Biomass and Bioenergy, 20: 329-335.

SPINELLI R. (2004) - *La raccolta dei residui di potatura.* In *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto BioEnergy Farm,* Quaderno ARSIA 6/2004, pp. 151-157.

SPINELLI R., SPINELLI R. (2000) - *L'allestimento meccanizzato del ceduo di castagno (*Castanea sativa *Mill.).* Monti e Boschi, 51 (1): 36-42.

SPINELLI R., SPINELLI R. (1998) - *L'imballatura dei residui legnosi agroforestali.* L'Informatore Agrario, 46: 59-62.

SPINELLI R., SPINELLI R. (2000) - *Prove di imballatura delle potature di olivo.* L'Informatore Agrario, 4: 101-104.

SPINELLI R., HARTSOUGH B. (2001) - *Indagine sulla cippatura in Italia.* CNR-IRL, Contributi Scientifico-Pratici, n. XLI, Firenze, 112 pp.

SPINELLI R., NATI C., MAGAGNOTTI N., CIVITARESE V. (2006) - *Produrre biomassa dai sarmenti di vite.* L'Informatore Agrario, 28: 36-39.

SPINELLI R., NATI C., SPINELLI R., NOCENTINI L. (2008) - *Meccanizzazione avanzata in bosco ceduo: analisi tecnica di due cantieri.* Sherwood, 144: 41-46.

SPINELLI R., NATI C., VERANI S., MOSCATELLI M. (2006) - *Diradamenti nelle pinete artificiali: cantiere tra innovazione e risparmio.* Sherwood, n. 128; Tecniko & Pratiko, dicembre 2006, 29: 6-7.

SPINELLI R., NATI C., VERANI S., MOSCATELLI M., PAVONE N. (2007) - *Meccanizzazione totale del diradamento selettivo puro nelle pinete artificiali del Meridione d'Italia.* EM-Linea ecologica, 39 (2): 58-64.

SPINELLI R., KOFMAN P. (1995) - *Cantieri agricoli e forestali, informatizzazione dei rilievi.* Macchine e Motori Agricoli, 11: 33-35.

SPINELLI R., RICCI F., SPINELLI R. (1998) - *Il recupero dei residui di utilizzazione.* Monti e Boschi, 1: 35-39.

SPINELLI R., RICCI F., SPINELLI R. (1998) - *Esbosco a strascico con minitrattore articolato.* Legno Cellulosa e Carta, 2: 26-31.

STEVENS V. (1997) - *The ecological role of coarse woody debris. An overview of the ecological importance of CWD in BC forests.* British Columbia, Ministry of Forests Research Program.

VERANI S. (1995) - *Produttività e costi nell'utilizzazione di boschi cedui e piantagioni di conifere.* Monti e Boschi, 46(6): 18-22.

VERANI S. (1989) - *Prove meccanizzate di diradamento in un popolamento di douglasia dell'appennino Tosco-Emiliano.* Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo, 24: 285-302.

ZALESNY J., ZALESNY R. jr., COYLE D., HALL R. (2007) - *Growth and biomass of* Populus *irrigated with landfill leachate.* Forest Ecology and Management, 248: 143-152.

La filiera Legno-Energia
come strumento di valorizzazione
delle biomasse legnose agroforestali

Progetto interregionale Woodland Energy

Coordinamento

Regione Toscana
Direzione Generale dello Sviluppo Economico
Settore Programmazione Forestale

Arsia - Agenzia Regionale per lo Sviluppo
e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale

Partner del progetto

Regione Abruzzo
Direzione Agricoltura

Arssa - Agenzia Regionale per i Servizi
di Sviluppo Agricolo - Abruzzo

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
Direzione centrale Risorse agricole, naturali e forestali
Servizio Gestione forestale e Antincendio boschivo

Regione Lazio
Direzione Regionale Agricoltura - Area 7

Arsial - Agenzia Regionale per lo Sviluppo
e l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio
Area Studi e Progetti

Regione Liguria
Dipartimento Ambiente

Regione Marche
Servizio Agricoltura, Forestazione e Pesca

Assam - Agenzia Servizi Settore Agroalimentare Marche

Regione Molise
Assessorato Agricoltura, Foreste e Pesca produttiva
Servizio Tutela forestale

Regione Siciliana
Assessorato Agricoltura e Foreste
Dipartimento Interventi infrastrutturali - Servizio X Leader

Regione Umbria
Servizio Foreste ed Economia montana

Segreteria tecnica

Associazione Italiana
Energie Agroforestali

Con il cofinanziamento del Programma Biocombustibili (ProBio) - MIPAAF

Direzione Generale
Sviluppo rurale, infrastrutture e servizi